

THEME

**CHANGEMENT CLIMATIQUE :
NOUVELLES COURBES INTENSITE-DUREE-FREQUENCE
AU BURKINA FASO (OUAGADOUGOU)**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : EAU**

Présenté et soutenu publiquement le 25 juin-2012 par

Mohamadou TRAORE

Travaux dirigés par : Dr. Jean-Emmanuel PATUREL, Hydrologue modélisateur, chargé de
Recherche IRD / Hydro Sciences Montpellier

Dr. Harouna KARAMBIRI, Enseignant chercheur au ZiE

Frédéric PONS et Christophe LAROCHE, DREC/SRILH

Pierre ZONGO, Direction Générale Météorologie

Jury d'évaluation du stage :

Président : **Dr. Harouna KARAMBIRI**

Membres et correcteurs :

Dr. Jean-Emmanuel PATUREL

Dr. Ibrahim BOUBACAR

Promotion [2011/2012]

CITATIONS

« N’as-tu pas vu que, du ciel, Allah fait descendre l’EAU ? Puis nous en faisons sortir des fruits de couleurs différentes. »

Coran : S 35 V 27

« Et parmi Ses merveilles est que tu vois la terre humiliée (toute nue). Puis aussitôt que Nous faisons descendre l’EAU sur elle, elle se soulève et augmente (de volume) ».

Coran : S 41 V 39

« ... n’ont-ils pas vu que les cieux et la terre formaient une masse compacte ? Ensuite Nous les avons séparés et fait de l’EAU toute chose vivante. »

Coran : S 21 V 30

DEDICACE

Au Nom d'Allah, le Miséricordieux, le Très Miséricordieux

« ; et marquer de la bonté envers les père et mère : si l'un d'eux ou tous deux doivent atteindre la vieillesse auprès de toi ; alors ne leur dis point : « Fi ! » et ne les brusque pas, mais adresse-leur des paroles respectueuses ».

Coran S 17-V23

A mes parents

Salut à toi ô ma chère mère, qu'Allah te fasse miséricorde comme tu m'as élevé lorsque j'étais petit. Fasse Allah que ton pèlerinage cette année soit une expiation de tous tes péchés.

Ô cher père votre salaire incombe à Allah.

A ceux que j'aime et qui m'aiment

A toute la famille SOW et plus particulièrement à :

Bocar SOW, Conseiller Pédagogique de Sciences Physiques,

Aminata BA, ma tante,

Dieynaba FOFANA, ma tante,

Mon épouse Leyla SOW, la Reine, toujours Mignonne,

Mon fils Souleymane K. DIOUMA,

Fatimata Binta Charif SOW, mon amie,

Ibrahima DIA, ingénieur Géologue,

Mes frères et sœurs,

La famille Kaou DIOUMA

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tous mes encadreurs au Burkina Faso et en France. Je remercie Dr. Jean-Emmanuel PATUREL, chercheur à l'IRD d'avoir proposé ce sujet, de son encadrement sans faille et d'avoir mis à ma disposition les moyens matériels.

Je remercie le Dr. Harouna KARAMBIRI enseignant chercheur et responsable de l'école doctorale du 2iE. Je me rappelle bien des discussions tardives dans la nuit dans son bureau. Je vous remercie de la qualité de votre encadrement, du matériel mis à disposition pour les besoins du mémoire et de m'avoir donné les bases de l'hydrologie.

Je remercie également mes encadreurs de la France, Christophe LAROCHE et Frédéric PONS DREC/SRILH pour la qualité de leur encadrement sur la prise en main de NUNIEAU. Au cours du mémoire un nombre incalculable de message s'est effectué. Les questions du matin avaient toujours leur réponse le soir.

Je remercie Monsieur le Directeur Général de la Météorologie Générale du Burkina Faso, Ernest OUEDRAOGO et Mr. ZONGO de leur accueil chaleureux dans les locaux de la météorologie.

Je ne saurais terminer sans remercier Bocar SOW, Conseiller Pédagogique de ses corrections du document.

Je remercie ma famille d'accueil ; Mamadou DIANKA et toute sa famille.

Enfin, je remercie Mouhamadou Al Amine BA pour son aide précieuse dans le traitement des données.

RESUME

Cette présente étude concerne la mise à jour des courbes IDF, Intensité-Durée-Fréquence pour la station synoptique de Ouagadougou au Burkina Faso. En effet l'évolution récente du climat et la recrudescence des événements pluviométriques telle que la pluie du 1^{er} septembre 2009 à Ouagadougou incite à réviser l'analyse statistique des pluies au Burkina. Une série chronologique de 31 ans de données pluviométriques sur papier pour la station de Ouagadougou a été fournie par la Direction de la Météorologie du Burkina Faso. Le traitement des pluviogrammes est facilité par un nouveau logiciel de dépouillement développé par les Centres d'Études Techniques de l'Équipement Méditerranée (CETE) : NUMérisation de Niveaux d'EAU. en mer ou en rivières (NUNIEAU). L'objectif de ce mémoire est de tester l'application de NUNIEAU et de mettre à jour les courbes IDF qui seront comparés à celles par le CIEH (1984) qui font toujours référence près de 30 ans après.

Il est confirmé que les maxima obéissent à la loi exponentielle et que la tendance actuelle de l'évolution du climat se traduit par une intensification des pluies de courtes durées.

Mots clefs : Courbes IDF, Ouagadougou ; NUNIEAU ; CIEH ; Loi exponentielle

Abstract

This present study relates to the update of the curves Intensity-Duration-Frequency for the synoptic station of Ouagadougou to Burkina Faso. Indeed recent evolution of the climate and recrudescence of the pluviometric events such as the rain of the first September 2009 in Ouagadougou encourages to revise the statistical analysis of the rains in Burkina 31 years a time series of rainfall records on paper for the station of Ouagadougou was provided by the Management of the Meteorology of Burkina Faso. The treatment of the pluviogram facilitated by new software of examination developed by the "Centres d'Études Techniques de l'Équipement Méditerranée": NUMérisation de Niveaux d'EAU.

at sea or in rivers (NUNIEAU). The objective of this memory is to test the application of NUNIEAU and to update the curves IDF which will be compared with those by the CIEH (1984) which always refers nearly 30 years afterwards.

It is confirmed that the maximum ones obey the exponential law and that the current tendency of the evolution of the climate results in an intensification of the rains of short durations.

Keywords: Curves Intensity-Duration-Frequency, Ouagadougou, NUNIEAU, CIEH,- exponential

LISTE DES ABREVIATIONS

2iE : Institut international d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

AMMA : African Monsoon Multidisciplinary Analysis

ASECNA : Agence pour Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar

CETE : Centres d'Etudes Techniques de l'Equipement Méditerranée

CIEH : Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques

CILSS : Comité permanent Inter-états de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel

Dpi : Dot per inch (Pixel Par Pouce)

GES : Gaz à Effet de Serre

GEV : Generalized Extreme Values (Valeurs Extrêmes Généralisées)

GIEC : Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Evolution du Climat

IDR : Institut de Recherche pour le Développement

NUNIEAU : Numérisation des Niveaux d'Eau

OMM : Organisation Mondiale de la Météorologie

Contenu

INTRODUCTION	5
I. PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE	8
I.1 Situation géographique du Burkina Faso	8
I.2 Réseau pluviométrique du Burkina Faso	8
I.3 Variabilité hydro-climatique	9
II. DONNEES DISPONIBLES.....	11
II.1.Pluviogrammes de Ouagadougou	11
II.1.1.Donnés recueillies par pluviographe	11
II.1.2.Données recueillies par pluviomètre	11
II.1.3.Critique des données	12
II.2.Courbes IDF-CIEH de Ouagadougou (1984)	12
III. Méthodologie de construction des courbes IDF	12
III.1.Définition.....	12
III.2.Domaines d'applications des courbes IDF	13
III.1.Matériels :	14
III.2.Matériels de mesures de pluie	14
III.2.1.Le pluviomètre	14
III.2.2.Le pluviographe	14
IV. Méthodes	15
IV.1.Synthèse bibliographique :	15
IV.2.Méthode de dépouillement manuel	16
IV.3.Choix de la loi de probabilité	17
IV.3.1.Hydrologie statistique :	18
IV.3.2.Ajustement de la loi de Gumbel	18
IV.4.Ajustement des quantiles : loi de Montana	21

V.	Les travaux du CIEH sur la construction des courbes hauteurs de pluie-durée- fréquence	22
V.1.	Données et documents anciens	23
V.2.	Qualité des données, critique	23
V.3.	Données de la zone d'étude	23
V.4.	Méthodologie CIEH.....	24
V.4.1.	Mode d'échantillonnage.....	24
V.4.2.	Loi statistique	24
VI.	Présentation du logiciel :.....	26
VI.1.	Principe de fonctionnement du logiciel.....	26
VI.2.	L'intérêt d'utiliser NUNIEAU	26
VI.3.	Installation de NUNIEAU	27
VI.4.	Scannage des pluviogrammes	27
VI.5.	Fichier paramètre.....	27
VII.	Difficulté d'utilisation (critique de NUNIEAU).....	28
VII.1.	Utilisation du logiciel.....	28
VII.2.	Etat des pluviogrammes	28
VII.3.	Schéma récapitulatif.....	30
VIII.	Résultats et Discussion	31
VIII.1.	Résultats et discussion de NUNIEAU	31
VIII.2.	Résultats et discussion des courbes IDF	34
VIII.2.1.	Ajustement des séries et choix des lois statistiques	34
VIII.2.2.	Courbes intensité-durée-fréquence de Ouagadougou	35
VIII.2.3.	Nouvelles courbes Hauteur de pluie-durée-fréquence (HDF) de Ouagadougou	39
IX.	Conclusion.....	46
X.	REFERENCES	47

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Densités de pluviographes d'après Paturel et al. (1986)	11
Tableau 2 : Tableau de distributions empiriques	19
Tableau 3 : Les stations synoptiques dépouillées.....	23
Tableau 4 : Tableau de comparaison des données de dépouillement NUNIEAU-manuel	33
Tableau 5 : Quantiles pour les périodes de retour de 2, 5, 10 et 20 ans, (Station Ouaga-Aéro)	39
Tableau 6 : Comparaison des quantiles actuelles et du CIEH.....	45
Tableau 7 : Tableau des intensités des courbes IDF	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 8 : Coefficient de Montana pour une durée de retour de 2 ans	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 9 : Coefficient de Montana pour une durée de retour de 10 ans.....	Erreur ! Signet non défini.

-

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte du réseau météorologique (Source Direction de la météorologie).....	8
Figure 2 : Graphique de comparaison des ajustements des maxima annuels de Ouagadougou	34
Figure 3 : Nouvelles courbes HDF de Ouagadougou	41
Figure 4 : Courbes HDF-CIEH de Ouagadougou	43
Figure 5 : Comparaison deux à deux des courbes par temps de retour	44
Figure 6 : Nouvelles courbes IDF de Ouagadougou	Erreur ! Signet non défini.

INTRODUCTION

La variabilité du climat fait partie depuis ces quarante (40) dernières années de l'une des réalités les plus partagées de façon globale dans le monde. La variabilité climatique affecte de façon considérable la disponibilité des ressources en eau. En Afrique de l'Ouest, Paturel et al., (1997) notent une baisse significative des pluies annuelles de l'ordre de 20 % qui s'accompagne de la diminution du nombre d'événements pluvieux. Le Barbé et Lebel (1997) confirment ces résultats : le déficit pluviométrique résulte de la diminution du nombre d'événements pluvieux. Cette baisse des précipitations s'est accompagnée d'une migration des isohyètes de 200 km vers le Sud.

Ainsi de 1970 à 1990, l'Afrique a connu l'une des plus grandes sécheresses du vingtième siècle. Selon le GIEC (2007), l'Afrique est alors l'un des continents les plus affectés par les perturbations climatiques de ces dernières décennies.

D'après (Frappart et al. 2009), l'étude du régime pluviométrique dans la bande du Sahel dans la région de Gourma au Mali a montré que le Sahel est caractérisé à la fois par une faible et forte variabilité pluviométrique ce qui affecte fortement l'hydrologie et celle du climat affecte l'agriculture et la gestion de l'eau dans la région.

Cette étude a utilisé d'une part la pluie journalière enregistrée sur la période de 1950-2007 et d'autre part l'analyse des jours pluvieux dans le projet African Monsoon Multidisciplinary Analysis (AMMA) entre 2005 et 2008. Le premier ensemble de donnée est utilisée pour analyser la variabilité interannuelle et la distribution spatiale des précipitations. Le second ensemble de donnée est utilisé pour analyser le cycle journalier des précipitations et la nature des pluies. Cette étude faite dans la bande Sahélienne est complémentaire des études précédentes dans le sud du Sahel où l'influence du Sahara continental est moins prononcée en été. D'après la même étude, les régimes pluviométriques dans la région de Gourma présentent une succession de période humide (1950-1969) suivie d'une décennie sèche (1970-2007). La diminution de la pluviométrie s'explique par une réduction du nombre des jours pluvieux au sud et des pluies journaliers. La longueur de la saison a varié depuis 1950 avec deux épisodes, une courte saison pluvieuse durant la sécheresse des années 1980 et de 2000. Le second épisode est caractérisé par une augmentation des précipitations par une intensification des événements récents.

Par ailleurs, une recrudescence des catastrophes à l'échelle mondiale est de plus en plus remarquée.

Devant cette situation préoccupante à l'échelle planétaire, plusieurs revues scientifiques et rapports sont publiés dans ce sens pour conscientiser et sensibiliser les opinions politiques. Ainsi des rencontres internationales se sont organisées sur la question des ressources en eau et du climat en général. Les conférences de Dublin 1992, Rio 1992, protocole de Kyoto 1997 ont poussé la plupart des pays à s'engager et à limiter les émissions des gaz à effets de serre (GES) dont l'impact négatif sur le climat est avéré.

Parallèlement à cette diminution des pluies en Afrique de l'Ouest. Les pluies sont de plus en plus intenses et violentes. Les pluies de courte durée sont en effet à l'origine des crues brutales et catastrophiques, ce qui menace la sécurité des personnes et des biens. D'après l'OMM (2006), plus de 80 à 90 % des catastrophes naturelles sont relatives à des événements hydro-climatiques. Une évolution rapide du nombre de catastrophes est constaté de 1975 à 2000. Les inondations du 1^{er} septembre 2009 au Burkina Faso ont fait des milliers de sinistrés et des morts. A la même date, période au Sénégal, 60 % de la population de la banlieue de Dakar ont eu les pieds dans l'eau, au Niger à Agadez, le décor est le même, de nombreuses familles sans abri. Dix ans plutôt, le Sénégal connaissait la pire des inondations de son histoire après le passage de la tempête Cynthia(1999).

L'objectif de ce mémoire est de mettre à jour les courbes Intensité-Durée-Fréquence au Burkina Faso pour la prévention des risques dans ce contexte de changement climatique.

Des pluviogrammes sur une durée de trente et un ans (31) de 1977-2011 nous ont été fournis par La Direction Générale de la Météorologie du Burkina. Le dépouillement des données pluviométriques est fait par un outil de NUMérisation des Niveaux d'EAU : **NUNIEAU-pluie** ; logiciel conçu par le CETE Méditerranée qui est dans une phase d'essai. Le dépouillement manuel des pluviogrammes est une tâche ardue et sujette à beaucoup d'erreurs Des outils de dépouillement ont existé par le temps mais la plupart sont devenus très peu utilisés voir abandonnés, parmi lesquels PLUVIOM

Ce sujet tire tout son intérêt dans le contexte de changement climatique qui a tendance à biaiser les premières courbes IDF établies par le CIEH (1984). L'objectif de ce sujet est d'abord de tester ce nouvel outil de dépouillement NUNIEAU et ensuite de comparer les nouvelles courbes IDF à celles obtenues par le CIEH en 1984 en appliquant le même canevas méthodologique. Nous avons procédé au même mode d'échantillonnage et la même loi statistique utilisée par le CIEH. C'est un sujet qui, auparavant n'a été traité que très peu malgré son importance sur le plan sécuritaire et prévisionnel

Ce travail s'articulera autour de quatre (04) axes principaux :

- ✓ La première partie concerne la situation géographique, la variabilité hydro-climatique de la zone d'étude,
- ✓ La deuxième partie est consacrée aux méthodes utilisées pour aboutir à la construction des courbes IDF ;
- ✓ Prise en main du logiciel NUNIEAU et dépouillement des pluviogrammes.
- ✓ Enfin en conclusion, des discussions et des remarques seront faites sur une première utilisation de NUNIEAU et la pertinence d'utiliser ce nouvel outil. Une comparaison sera faite entre les courbes IDF nouvellement construites et celles du CIEH.

Les tendances climatiques des trente dernières années seront discutées. La validation de ce mémoire aura certes pour effet la mise à jour des bases de calcul en ingénierie et engendrera également une multitude de conséquences sur des domaines très variés. Il sera aussi proposé les nouvelles valeurs de calculs des coefficients de Montana pour les pluies de courte durée qui continuent encore à causer des dégâts considérables.

I. PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE

I.1 Situation géographique du Burkina Faso

Le Burkina Faso est un pays enclavé de l'Afrique occidentale. Il s'étend sur 625 km du nord au sud et sur 850 km d'est en ouest et couvre une superficie de 274 000 km². Il est limité au nord et à l'ouest par la République du Mali, au sud par les Républiques de Côte d'Ivoire, du Ghana, du Togo et du Bénin à l'est par la République du Niger.

I.2 Réseau pluviométrique du Burkina Faso

Le Burkina totalise dix (10) stations synoptiques pour la mesure de la pluie. Ces stations sont localisées pour la plupart dans les principales zones climatiques et villes du pays. Pour rappel ces appareils mesurent la pluie ponctuellement ce qui est une option de mesure de la pluie.

Cependant la mesure ponctuelle de la pluie ne prend pas en compte la variation spatiale des pluies ce qui peut avoir une variation dans la quantité globale de pluie tombée.

La météorologie de Ouagadougou est maintenant équipée d'un radar en phase de test pour la saison 2012.



Figure 1 : Carte du réseau météorologique (Source Direction de la météorologie)

Cette carte montre la répartition spatiale des stations du Burkina. La couverture peut être estimée à 1 pluviographe par 2740 km². Un manque de densification du réseau de pluviographes est remarquable. Paturol et al. (1986) proposent les densités indiquées au Tableau 1 déterminées à partir de plus de 270 000 simulations de répartition des pluviographes sur les bassins versants.

I.3 Variabilité hydro-climatique

Le Burkina est l'un des pays de l'espace Sahélien ouest-africain. Du fait de sa situation géographique, son climat est de type tropical. On distingue principalement trois zones climatiques qui sont : la zone sahélienne au nord avec une pluviométrie moyenne annuelle inférieure à 600 mm, la zone nord soudanienne au centre avec une pluviométrie moyenne annuelle comprise entre 600 et 900 mm et la zone sud soudanienne au sud avec une pluviométrie moyenne annuelle de supérieure à 900mm.

Les figures 2 et 3 donnent des informations sur l'évolution de la pluviométrie annuelle de la période 1951-1980 et la période 1981-2010. Elles permettent alors de disposer d'éléments d'analyse et de confrontation des résultats.

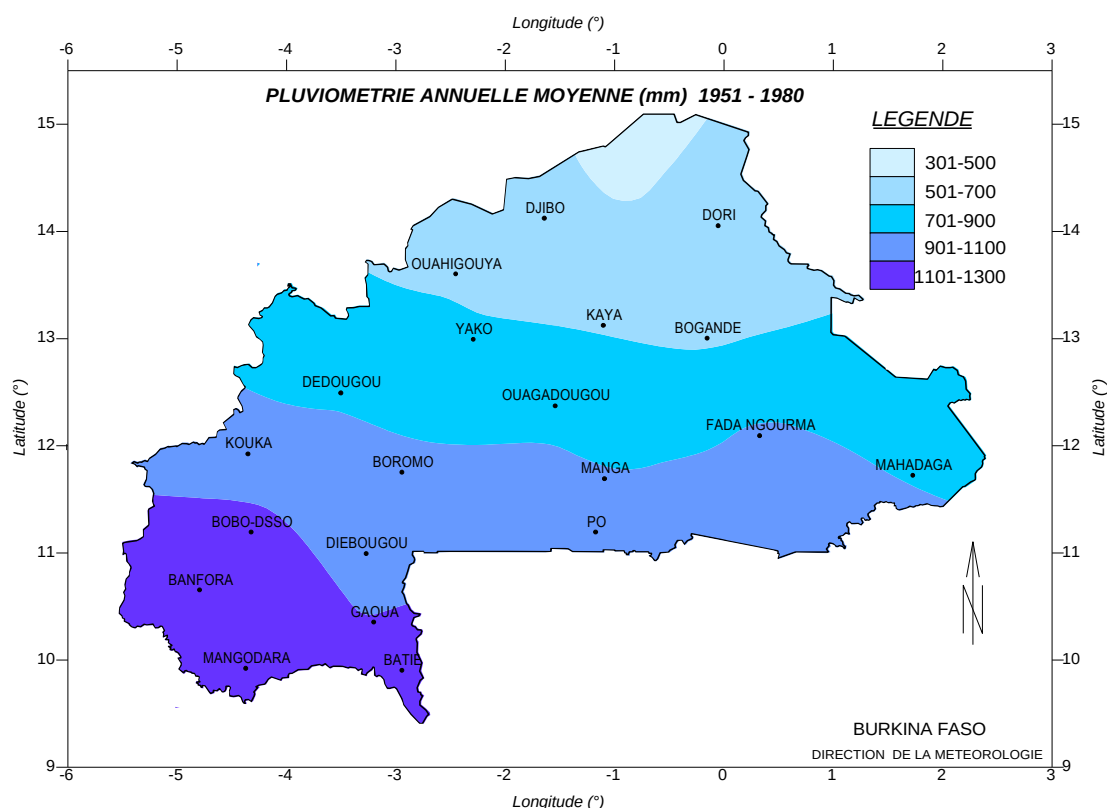


Figure 2 : Pluviométrie annuelle moyenne 1951-1980 (Source Direction de la météorologie)

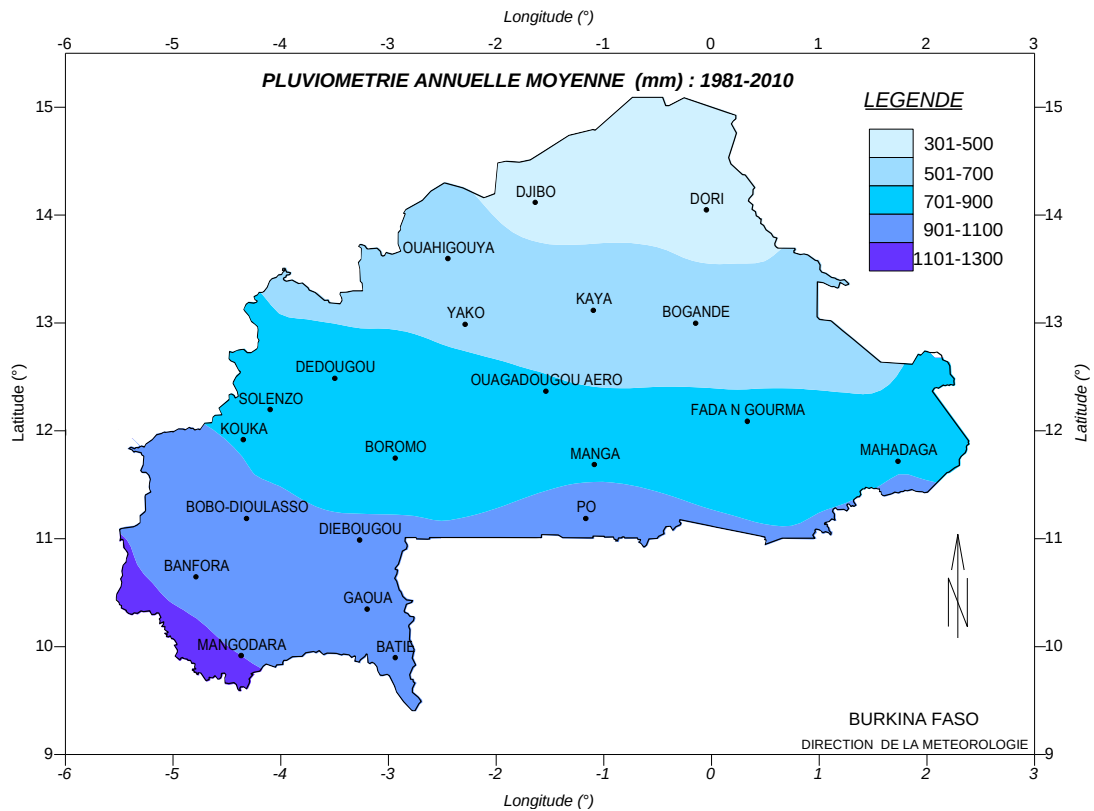


Figure 3 : Pluviométrie annuelle moyenne 1981-2010 (Source Direction de la météorologie)

L'ensemble de ces cartes nous montre de façon visuelle l'évolution qu'il y'a eue entre les deux périodes concernant notre étude. La variation de la pluviosité de façon générale sur les quantités d'eau mesurée au cours des deux périodes on peut poser la question sur une variation similaire dans la variation des intensités de pluie dans un sens ou dans l'autre, en tout état de cause le changement climatique a profondément marqué la variabilité hydroclimatique du Burkina Faso de façon générale.

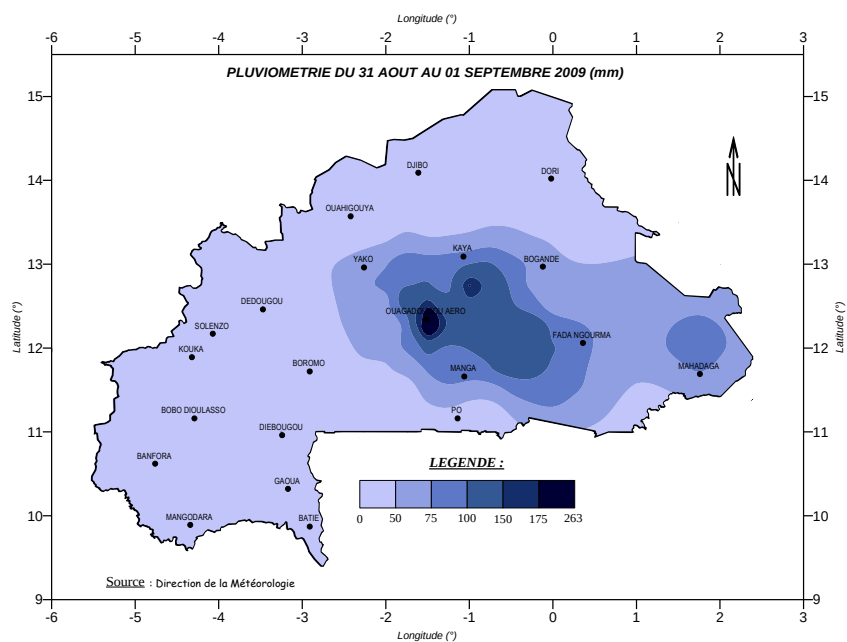


Figure 4 : Pluie du 31 août au 01 septembre 2009 (Source Direction de la météorologie)

Tableau 1 : Densités de pluviographes d'après Paturel et al. (1986)

Aire du bassin versant (ha)	Nombre de pluviographes
≤ 50	1 – 2
50 -100	2 – 3
100 – 500	4 – 5
500 – 1 000	6 – 7
1 000 – 2 000	7 – 10
2 000 – 3 000	10 – 12
3 000 – 4 000	12 – 14
4 000 – 5 000	14 – 16
5 000 – 10 000	16 – 20
10 000 – 20 000	20 - 30

II. DONNEES DISPONIBLES

Des pluviogrammes sur une durée de trente et ans (31) de 1977-2011 nous ont été fournis par la Direction Générale de la Météorologie du Burkina. Il est à noter qu'il y'a dans la série de données l'absence de quelques années : 1990, 1991, 1999 et 2006 Le dépouillement des données pluviométriques se fera à l'aide d'un outil de numérisation des niveaux d'eau : **NUNIEAU-pluie** ; logiciel conçu par le CETE Méditerranée et qui est dans sa phase d'essai.

II.1.Pluviogrammes de Ouagadougou

Les données pluviométriques se composent essentiellement d'enregistrements sur pluviogrammes en papier et de hauteur d'eau globale tombée lue sur un pluviomètre.

II.1.1.Données recueillies par pluviographe

Les données hydro-climatiques concernent les enregistrements de pluie sur des pluviogrammes allant de 1977 à 2011 de la station d'Ouagadougou

II.1.2.Données recueillies par pluviomètre

Ces données sont rattachées à celles recueillies par le pluviographe pour d'éventuelles corrections sur la quantité globale de pluie tombée.

Dans notre cas, nous ne disposons pas de ces mesures et nous avons donc considéré que les volumes totalisés à partir des dépouillements des pluviogrammes correspondent aux volumes effectivement précipités.

II.1.3.Critique des données

Une vérification des données brutes issues des pluviographes doit être faite en vue de la correction de la pluie globale tombée. L'association pluviographe et pluviomètre est alors nécessaire dans les stations pluviométriques. Dans notre cas les données recueillies par pluviomètre ne sont pas disponibles pour pouvoir faire cette correction sur la pluie totale. Par ailleurs nous avons essayé de comparer les lames d'eau totales journalières que nous avons obtenues aux cumuls des pluies journalières de l'ASECNA mais les dates ne correspondent pas ce qui ne permet pas une comparaison plus rigoureuse.

Il faut ajouter à cette critique la disparition des relevés de quelques années (cf. Données disponibles) qui peut entraîner une diminution dans les estimations des quantiles calculées.

II.2.Courbes IDF-CIEH de Ouagadougou (1984)

Nous disposons les courbes IDF du CIEH pour Ouagadougou qui datent de 1984. Elles sont indispensables et servent de canevas pour notre étude.

- ✓ Mode d'échantillonnage utilisée qui a conduit à la construction de la série de données,
- ✓ Méthodes statistiques utilisées pour la construction des courbes IDF.

L'information que nous pouvons tirer de ces courbes nous permettront de comprendre le passé pluviométrique de la zone d'étude notamment les intensités des pluies, mais aussi de disposer d'éléments de comparaison avec nos résultats obtenus récemment afin de comprendre l'influence des changements climatiques qui se sont opérés depuis ces trente dernières années et de pouvoir mener des discussions tout en considérant ce scénario d'évolution du climat.

III.Méthodologie de construction des courbes IDF

III.1.Définition

Les courbes IDF construites sur la base de longue série pluviométrique relevée au niveau d'une station synthétisent toute l'information pluviométrique pour la sécurité des ouvrages et des projets. Elles permettent alors aux projeteurs d'avoir l'information de façon condensée dans le repère qui donne l'intensité en fonction de la durée de retour. Les courbes Intensités-Durée-

Fréquence (IDF) donnant la probabilité de diverses intensités de pluie pour diverses durées en un lieu donné. Il s'agit d'une famille de courbes dont chacune représente une certaine fréquence d'occurrence ou une certaine période de retour exprimée en année.

Ainsi, deux lois essentielles peuvent sortir de l'analyse des pluies à travers les courbes IDF.

- ✓ Pour une même fréquence d'apparition donc un même temps de retour l'intensité d'une pluie est d'autant plus forte que sa durée est courte,
- ✓ A durée de pluie égale, une précipitation sera d'autant plus intense que sa fréquence d'apparition sera petite (donc son temps de retour sera grand)

Nous disposons pour cette étude d'une série des valeurs extrêmes recueillie à partir des pluviogrammes à l'aide du logiciel NUNIEAU-pluie. Les pas de temps retenus sont de 5, 15, 30, 60 mn. La série chronologique est longue de 31 années ce qui constitue un échantillon relativement appréciable pour pouvoir faire des études statistiques modélisant le phénomène.

La méthodologie de construction des courbes IDF comprend trois (03) étapes.

- On calcule la probabilité empirique de l'échantillon puis on ajuste l'échantillon avec plusieurs lois pour valider la loi qui convient le mieux,
- On détermine les quantiles correspondant à des périodes de retour choisies (2, 5, 10 ou 20 ans)
- On ajuste une équation empirique sur les quantiles, ce qui permet de lier à chaque intensité choisie, le temps de retour correspondant.

$$I = at^{-b} \quad (01)$$

Avec

I (mm/h) : Intensité maximale de la pluie,

t (mn) : durée de la pluie

a et b : les coefficients d'ajustement

Cette procédure sera appliquée sur l'ensemble des séries de pluies par exemple à 5, 15 et 30 mn de façon indépendante.

III.2.Domains d'applications des courbes IDF

Les domaines d'utilisation des courbes IDF sont nombreux et variés et parmi lesquels on peut citer :

- ✓ L'assainissement pluvial,
- ✓ Les Travaux publics : dimensionnement d'ouvrages, infrastructures

- ✓ La Prévision et prédiction : gestion de risques d'inondation, (crue, étiage)
- ✓ La Planification et la gestion des ressources en eau,
- ✓ L'Agrobusiness,

III.1.Matériels :

Les traitements effectués dans le cadre de ce mémoire ont fait appel à différents logiciels :

- ✓ Logiciel de scannage SCANWISE : permet de transformer les pluviographes en fichier image,
- ✓ Photofiltre (ou IrfanView) : logiciel de traitement d'image,
- ✓ Matlab : version non programmable du logiciel servant d'environnement à NUNIEAU,
- ✓ NUNIEAU-pluie : logiciel de NUMérisation des Niveaux d'EAU,
- ✓ Arcview : pour la confection des cartes,
- ✓ Excel, Word pour le traitement des données,
- ✓ Hyfran pour le traitement statistique des données.

III.2.Matériels de mesures de pluie

Plusieurs dispositifs de mesure existent : des mesures ponctuelles, des mesures surfaciques et des mesures par radar.

III.2.1.Le pluviomètre

Le pluviomètre est un instrument de mesure des précipitations liquides ou solides. Il donne la quantité de pluie globale dans un intervalle de temps. Cet appareil permet de contrôle au pluviographe. Ces deux appareils sont installés dans une même enceinte en général pour pouvoir faire le rapport de la pluie à la fin d'une mesure.

III.2.2.Le pluviographe

La pluie est mesurée à partir d'appareil appelé pluviogramme. C'est un appareil mécanique muni d'un cylindre tournant autour d'un axe vertical à une certaine vitesse. L'appareil est muni d'un stylet qui inscrit les niveaux d'eau à chaque basculement des augets sur le papier autour du cylindre.

De façon générale, nous avons deux types : les pluviographes à augets basculeurs et ceux à siphons.

La pluie se mesure en hauteur sur une unité de surface et nous avons :

$$1 \text{ mm} = 1 \text{ l/m}^2 = 10 \text{ m}^3/\text{ha}$$

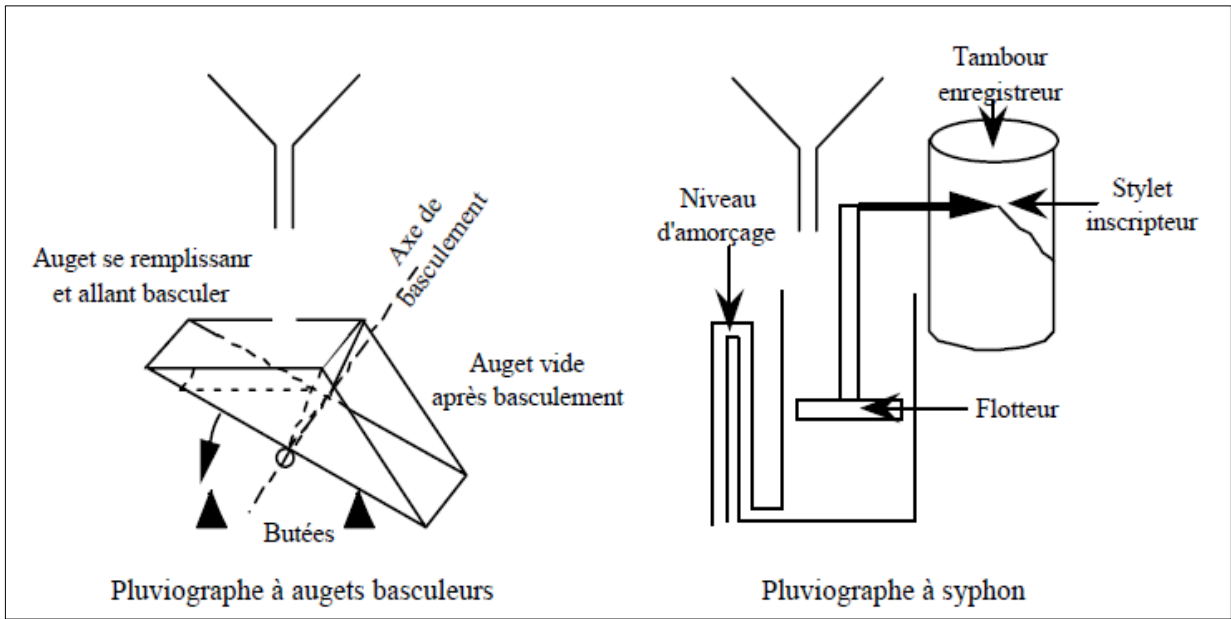


Figure 5 : Pluviographes à augets basculeurs et à siphon

IV. Méthodes

Il est question dans cette partie de s'étendre sur les courbes IDF objet de cette étude et surtout sur les lois qui s'appliquent aux échantillons de pluies pour construire les courbes intensités-durée - fréquence. En effet les courbes IDF sont basées sur une démarche probabiliste ce qui fait appel à des méthodes statistiques nombreuses et variées.

IV.1.Synthèse bibliographique :

Très peu d'études ont été faites sur les courbes IDF en Afrique de l'Ouest. La plus connue est (1984)« *Courbes hauteur de pluie-fréquence Afrique de l'Ouest et Centrale pour des pluies de durée 5 mn à 24 h(1984)* » rédigée par le CIEH et qui date de 1984. Le changement climatique observé depuis 1970 en Afrique de l'Ouest conduit à remettre à jour de telles études. En 2009 l'Afrique l'Ouest a connu des épisodes pluvieux exceptionnels et plus particulièrement le Burkina Faso. De nombreuses lois statistiques sont utiliser pour établir la loi de comportement des pluies. Cependant ces lois méritent d'être utilisées de façon minutieuse et avec une expertise avérée. En effet, dans certains pays, ou dans certaines administrations, il existe en effet des règles ou des normes qui fixent les méthodes d'analyse. Par exemple, la loi log-Pearson III est recommandée aux Etats-Unis.

Pour la modélisation des valeurs extrêmes (comme dans la construction des courbes IDF), certains modèles ont prévalu sur d'autres tels que la loi des extrêmes généralisées ou loi de Jenkinson (GEV). C'est une loi très utilisée par les hydrologues. C'est une loi à trois (03) paramètres

Elle s'exprime de la manière suivante :

$$F(x) = \exp \left\{ - \left[1 - k \left(\frac{x - x_0}{s} \right) \right]^{\frac{1}{k}} \right\} \quad k \neq 0 \quad (02)$$

$$F(x) = \exp \left[- \exp \left(- \frac{x - x_0}{s} \right) \right] \quad k = 0 \quad (03)$$

Avec

k : Paramètre de forme positif imposé non nul,

x₀ : Paramètre de position,

s : Paramètre d'échelle.

Dans le cas où $k = 0$, cette loi se ramène tout simplement à la loi de Gumbel (03).

La loi de Gumbel (ou loi double-exponentielle) est l'une des lois les plus connues dans le cadre de la modélisation des valeurs extrêmes en hydrologie. Elle est utilisée par la plupart des services météorologiques officiels (OMM, 1981).

Bien qu'elle soit la plus utilisée elle n'est pas indemne de toute critique. C'est pourquoi de récentes études ont remis en cause la prédominance de la loi de Gumbel dans le cadre de statistiques sur de longues séries (Koutsoyiannis, 2003 ; 2004). La conséquence de cela est de ne pas extrapoler les courbes IDF au-delà des périodes qui dépassent la longueur d'enregistrement. C'est ainsi que pour des temps de retour élevés il est suggéré d'utiliser la loi Généralisée des Valeurs Extrêmes de type 2 (GEV-EV2) en lieu et place de la loi de Gumbel (équation.1)

IV.2.Méthode de dépouillement manuel

Le dépouillement manuel sera fait sur quelques échantillons de pluviographes afin de comparer les intensités de pluies obtenues par dépouillement manuel et celles obtenues avec le logiciel NUNIEAU.

Le principe du dépouillement manuel est simple ; il s'agit de choisir un pas de temps par exemple 5 mn puis de comptabiliser la hauteur d'eau recueillie et enfin de faire le rapport entre la hauteur d'eau en mm et le pas de temps pour obtenir l'intensité de la pluie.

$$I \text{ (mm/h)} = \frac{\Delta h \text{ (mm)}}{t \text{ (h)}}$$

Avec

Δh (mm) : la lame d'eau recueillie (hauteur d'eau),

$t(h)$: Le temps de temps (durée),

I (mm/h) : L'intensité de la pluie mesurée.

L'intensité est généralement donnée en (mm/h)

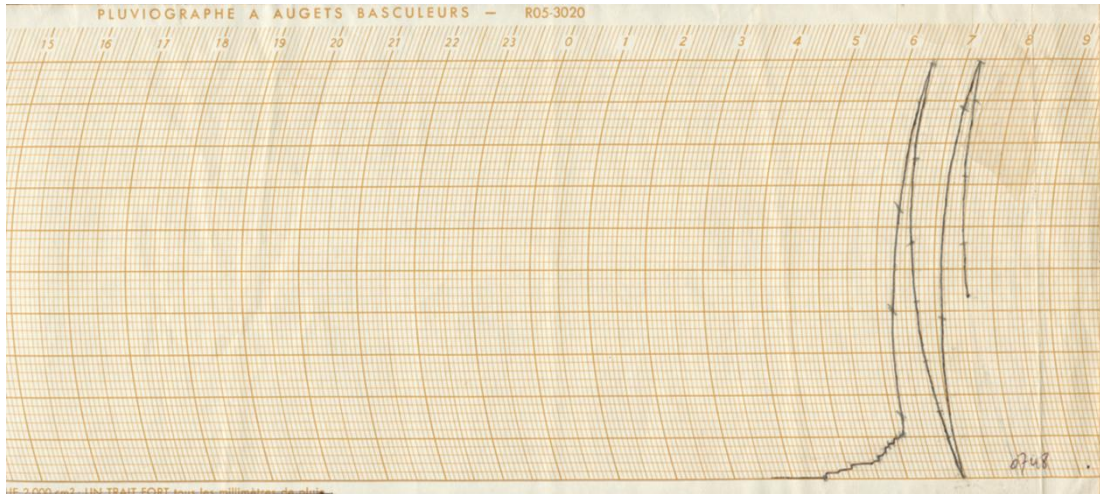


Figure 6 : Exemple de pluviogramme : partie de la pluie du 01 septembre 2009 à Ouagadougou

Il est tombé une hauteur d'eau de 178 mm entre 4 h 37 mn et 7h 35 mn. Cet extrait correspond à une partie de la pluie qui est tombée. Cette partie de la pluie est intense que celle manquante disparue des archives de la météo.

IV.3.Choix de la loi de probabilité

Les modèles en hydrologie statistiques sont nombreuses et notoires. Cependant il faut savoir choisir la loi qui modélise au mieux le phénomène étudié. Il s'agira dans ce mémoire d'étudier l'ajustement statistique des maxima annuels observés appliqué à la station de Ouagadougou (période de 1977-2011).

En parcourant la littérature la loi de Gumbel semble être la plus utilisée pour l'étude des événements extrêmes. Connaître les chances de réalisation d'un événement climatique telle que la pluie exceptionnelle du 01^{er} septembre 2009 au Burkina relève d'une démarche probabiliste.

IV.3.1. Hydrologie statistique :

L'analyse statistique permet le traitement des données de longue série et de dégager très rapidement les tendances et les évolutions de la variable aléatoire étudiée telle que les hauteurs de pluies. L'essentiel des paramètres à calculer sont les indicateurs de position et les indicateurs de dispersion. La plupart de ces paramètres sont contenus dans les fonctions Excel sous le menu « Formule » puis l'onglet « Plus de fonction » on y trouve les fonctions statistiques.

IV.3.2. Ajustement de la loi de Gumbel

La loi de Gumbel dépend de deux (02) paramètres : s le gradex (gradient exponentiel, $s > 0$) paramètre de forme, et x_0 (paramètre de position).

Soient :

X une variable aléatoire appartenant $]-\infty; +\infty[$ suivant une loi de Gumbel.

U la variable définie par:

$$U = \frac{X - x_0}{s} \quad \text{C'est la variable réduite de Gumbel.}$$

La fonction de répartition de la variable réduite est :

$$F(x) = \exp(-\exp(-U)) \quad (04)$$

$$U = -\ln(-\ln(F(x))) \quad (05)$$

L'avantage d'utiliser la variable réduite est que l'expression d'un quantile est alors une fonction affine (linéaire). En effet pour trouver la valeur x_q d'un quantile, il suffit d'utiliser la relation suivante :

$$x_q = x_0 + s u_q \quad (06)$$

✓ Technique d'ajustement : méthode graphique

Dans le cas d'un ajustement selon la loi de Gumbel, la méthode graphique consiste à déterminer l'expression d'un quantile selon l'équation d'une droite (équation 03). En effet les points de la série à ajuster sont reportés dans système d'axe $(x_i; u_i)$. On trace alors la droite qui passe par le maximum de points sur un papier spécial et d'en déduire les paramètres s et x_0 de la loi.

Les x_i sont les valeurs extrêmes de pluies données selon l'ordre décroissant et les u_i sont calculés selon la relation inverse de la fonction de répartition (équation 2)

Plusieurs méthodes d'estimation de la fonction de répartition existent. Le principe commun à toutes ces formules d'estimation est le tri de la série par valeur croissantes et d'attribuer le rang à chaque valeur. Ces formules sont résumées dans la formule générale suivant:

$$F^*(x) = \frac{r - \alpha}{n + 1 - 2\alpha} \quad (07)$$

avec

r = : Rang,

α = Coefficient compris entre 0 et 0.5

Tableau 2 : Tableau de distributions empiriques

Nom	α	Formule
Weibull	0	$\frac{r}{n + 1}$
Cunnane	0.4	$\frac{r - 0.4}{n + 0.2}$
Gringorten	0.44	$\frac{r - 0.44}{n + 0.12}$
Hazen	0.5	$\frac{r - 0.5}{n}$

Nous allons utiliser la distribution empirique de Hazen pour l'ajustement de la loi Gumbel.

IV.3.2.1.Méthodes des moments

La méthode des moments consiste à égaliser les moments des échantillons avec les moments. Les paramètres a et b de la loi sont calculés :

$$\begin{cases} b = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \sigma \\ a = m - b\gamma \end{cases} \text{ avec } \gamma = 0.5772 \text{ (constante d'Euler).} \quad (08)$$

Avec

σ : l'écart – type

m : la moyenne de l'échantillon

IV.3.2.2.Méthodes de vraisemblance

Cette méthode revient à considérer que les paramètres de la loi doivent être tels qu'ils maximisent la probabilité d'apparition de l'échantillon traité.

Soit f la fonction de densité de la loi de probabilité de paramètres $a, b, \dots$. On appelle fonction de vraisemblance L le produit :

$$L = \prod_{i=1}^n f(x_i, a, b, \dots) \quad (09)$$

Il s'agit de maximiser la fonction L en prenant le $\ln$ de cette dernière :

$$\ln L = \sum_{i=1}^n \ln [f(x_i, a, b, \dots)] \quad (10)$$

Ce qui revient à annuler les dérivées partielles :

$$\begin{cases} \frac{\partial \ln L}{\partial a} = 0 \\ \frac{\partial \ln L}{\partial b} = 0 \end{cases} \quad (11)$$

IV.3.2.3.Détermination des quantiles

Il est possible d'estimer alors les échantillons (les hauteurs d'eau précipitées) dont la représentation est affine

$$H = a + bu \quad (12)$$

Avec

H : lame d'eau précipitée

u : variable réduite de Gumbel

IV.3.2.4.Intervalle de confiance

Quel niveau de confiance peut-on accorder à l'échantillon ? La construction de l'intervalle de confiance permet de vérifier alors à l'œil la fiabilité ou le degré de confiance que l'on peut accorder à l'échantillon. Les échantillons seront validés à un intervalle de 80%.

IV.3.2.5.Relation entre Gumbel et période de retour

Elle traduit la probabilité d'observer un événement d'ampleur supérieure ou égale à x . La notion de temps de retour est extrêmement importante en hydrologie statistique. Elle correspond à l'inverse de la fréquence au dépassement. La connaissance de la période de retour permet la planification et la gestion des risques dans le temps. La probabilité au dépassement (probabilité de dépassement) est définie par

$$P(X \geq x) = 1 - F(x) \quad (13)$$

$$T(x) = \frac{1}{1 - F(x)} \quad (14)$$

IV.3.2.6.Tests d'adéquation des lois statistiques

Il existe plusieurs tests non paramétriques tels que le test du khi-2

- ✓ Découper l'échantillon en classe,
- ✓ Calculer l'effectif théorique,
- ✓ Calculer la valeur du χ^2 :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - n_{pi})^2}{n_{pi}} \quad (15)$$

Calculer le nombre de degré de liberté

$$\lambda = k - p - 1 \quad (16)$$

Lire dans une table la valeur théorique $\chi_{0.05}^2$ (probabilité au dépassement de 5%)

Avec

χ^2 : quantifie l'écart entre la distribution empirique et la distribution théorique n_i

IV.4.Ajustement des quantiles : loi de Montana

Des ajustements seront faits sur les courbes IDF pour présenter les récents coefficients de Montana. (équation citée plus haut)

$$I = at^{-b}$$

Les coefficients peuvent être déterminés de plusieurs manières :

Tracer dans repère le logarithme népérien des deux variables étudiées

Nous possédons deux observations :

- ✓ les pas de temps 5, 15, 30 et 60 mn suivant l'axe Y donc les y_i ,
- ✓ les quantiles déterminées pour une durée de retour (exemple 10 ans) suivant l'axe des X donc les x_i ,
- ✓ calculer logarithme népérien des variables : $\ln(y_i) = Y$, $\ln(x_i) = X$,
- ✓ faire le produit de X et Y
- ✓ calculer $\bar{X}$ la moyenne des x_i ,
- ✓ calculer $\bar{Y}$ la moyenne des y_i ,
- ✓ calculer X^2 ,
- ✓ calculer :

$$b = \frac{XY - \bar{X}\bar{Y}}{X^2 - \bar{X}^2} \quad (17)$$

- ✓ Calculer :

$$c = \bar{Y} - b\bar{X} \quad (18)$$

- ✓ Et enfin calculer :

$$a = \exp(c) \quad (19)$$

En réalité cette méthode est une méthode statistique appelée régression linéaire ou méthode covariance. Les coefficients **a** et **b** de Montana ici correspondent aux coefficients de régression de la droite obtenue en traçant : $\ln(y_i) = f(\ln(x_i))$.

L'autre manière de faire est de tracer : $\ln(y_i) = f(\ln(x_i))$ si la corrélation est bonne on admet directement une droite puis on calcule les coefficients de la droite affine

Il existe un écart entre les deux méthodes dans la valeur du coefficient **b** due certainement à la corrélation qui ne peut être égale à 1 sinon la valeur du coefficient **a** de Montana reste le même.

V. Les travaux du CIEH sur la construction des courbes hauteurs de pluie-durée-fréquence

Le CIEH avait fait le constat que la connaissance des écoulements dans les petits bassins versants urbains et les bassins et ruraux nécessite une connaissance des pluies de courtes durée, pendant de longues années sans subir de traitements. Cette information n'existait alors pas et le CIEH a donc entrepris de combler ce manque en traitant l'ensemble des stations synoptiques de l'Afrique de l'Ouest.

V.1.Données et documents anciens

La première tentative de construction des courbes IDF remontent de 1963-1968. En 1974, MOUNIS et MANSONGI (CIEH) proposent les premières courbes intensités-durée-fréquence pour la plupart des villes du sahel. Puis des missions de dépouillement ont été effectuées dans tous les pays membres pour recueillir des données pluviométriques en complément des travaux de (Mounis et al).

Ainsi les travaux du CIEH ont porté sur 82 stations pour 1372 années-stations.

V.2.Qualité des données, critique

Un jugement du CIEH a été fait sur la qualité des données, la sécurité des appareils de mesure face aux intempéries, les lacunes (trous) dans les données, les problèmes mécaniques etc...

La qualité est jugée bonne dans les pays du Sahel y compris donc le Burkina (Ouagadougou) la zone d'étude nous concernant particulièrement.

V.3.Données de la zone d'étude

Plusieurs stations ont été dépouillées au Burkina

Tableau 3 : Les stations synoptiques dépouillées

Station	Période	Années-stations
Ouagadougou*	1954-1982	29
Ouahigouya	1968-1982	15
Bobo-Dioulasso	1955-1982	28
Boromo	1970-1982	13
Fada Ngourma	1967-1982	16
Dori	1966-1982	17
Gaoua	1966-1982	17

V.4.Méthodologie CIEH

V.4.1.Mode d'échantillonnage

Le CIEH a utilisé la méthode qui a été utilisée par MOUNIS et MANSONGI Elle consiste à ajuster les pluies les fortes à une loi Exponentielle. Elle permet d'obtenir une meilleure précision sur les faibles durées de retour (1, 2, 5 ans). Le CIEH a retenu les dix valeurs maximales pour chaque année. Ainsi il s'est fixé pour n années d'observations m valeurs ($m \geq n$) et finalement pour aboutir à un nombre d'échantillon égal au triple du nombre d'années (soit : $m = 3 n$). En plus de ce seuil les ajustements ont été faits sur les $m = n$, $m = 2 n$.

Nous avons adopté le même échantillonnage et traité les trois cas.

V.4.2.Loi statistique

Elle consiste à ajuster les pluies les fortes à une loi Exponentielle. Elle permet d'obtenir une meilleure précision sur les faibles durées de retour (1, 2, 5 ans).

Les échantillons ont été ajustés avec la loi exponentielle. Un échantillon de taille m supérieure au nombre d'années n d'observations a été utilisé.

Le retour à la loi annuelle P à l'aide de la loi de probabilité P_m (P) déterminé avec l'échantillon de taille m sur une période de n années s'écrit :

$$P = \frac{m}{n} P_m \quad (20)$$

L'ajustement de l'échantillon des m plus grandes valeurs à une loi exponentielle conduit à l'expression suivante pour la fréquence de dépassement F d'une pluie P :

$$F = \text{Prob}(\text{Pluie} > P) = P_m(P) = e^{-\frac{P-x_0}{s}} \quad (21)$$

Avec x_0 (position) et s (forme) qui sont les paramètres d'ajustement d'ajustements déduits de la moyenne $\bar{x}_m$ et de l'écart-type σ_m par :

$$x_0 = \bar{x}_m - \sigma_m$$

$$s = \sigma_m$$

(Cas de l'ajustement par la méthode des moments).

L'expression (20) permet de démontrer que P suit également une loi exponentielle.

En effet on peut écrire

$$P = \frac{m}{n} P_m (P) = \frac{m}{n} e^{\left(-\frac{P-x_0}{s}\right)} \quad (22)$$

$$P = \frac{m}{n} P_m (P) = e^{\left(-\frac{P-x_0}{s} + \log \frac{m}{n}\right)} \quad (23)$$

Les paramètres x'_0 et s' de la loi annuelle P peuvent s'écrire :

$$x'_0 = X_m - \sigma_m + \sigma_m \log\left(\frac{m}{n}\right)$$

$$s' = \sigma_m$$

VI.Présentation du logiciel :

NUNIEAU est un logiciel de numérisation des niveaux d'eau. Il permet le dépouillement automatique des pluviogrammes. Ce logiciel constitue un outil de récupération et de transformation du signal pluviométrique sur papier en information numérique. Le logiciel NUNIEAU est développé par le Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement Méditerranée (CETE).

Cette présentation se veut un guide pratique de l'utilisation de NUNIEAU. Ainsi il ne sera développé que les menus et sous-menus suffisant pour l'utilisation de NUNIEAU-pluie tout en sachant que logiciel est fourni d'options de traitements très avancées, de module statistique qui, pour certains sont encore en phase de développement.

VI.1.Principe de fonctionnement du logiciel

NUNIEAU-pluie permet d'extraire le tracé de la pluie (signal) sur les pluviogrammes à partir d'un algorithme basé sur la récupération d'une certaine plage de couleur. Toutes les manipulations du logiciel sont consignées dans une matrice (fichier calage) qui sera numérisée pour fournir les lames d'eau à chaque pas de temps choisi.

V1.2.L'intérêt d'utiliser NUNIEAU

Une des préalables à une étude statistique est la constitution de la série de données ce qui est fondamentale. Les données pluviométriques sont enregistrées sur du papier. A titre d'exemple on estime le nombre d'événements pluvieux enregistrés à un poste pluviométrique au Burkina Faso à 70.

Par ailleurs, toute étude statistique devrait nécessiter au moins au moins une série de 30 années de données, soit un nombre élevé de pluviogrammes à traiter. Or Le dépouillement manuel est fastidieux et requiert beaucoup de temps. L'intérêt de NUNIEAU-pluie est de faire ce traitement de façon automatique ce qui permet un gain considérable en temps avec une précision qualifiée de bonne.

Le logiciel fait une récupération numérique du signal pluviométrique et les données sont consignées dans un fichier Excel ce qui facilite l'accès à l'information et à la constitution d'une base de donnée pluviométrique.

En effet le dépouillement des pluviogrammes n'est pas aisé ce qui contribue nécessairement à limiter le nombre d'études dans le domaine des courbes IDF. Courbes sur lesquelles repose la

base de dimensionnement des ouvrages d'art, d'assainissement, de façon générale la sécurité des personnes et des biens.

VI.3.Installation de NUNIEAU

NUNIEAU fonctionne sous l'environnement Matlab. Il faut ensuite de NUNIEAU une version non programmable de Matlab téléchargeable sur le site du CETE Méditerranéen. Il faut aussi avoir un logiciel de traitement d'image tel que IrfanView (1.45 Mo) ou Photofiltre (4.01 Mo) qui sont des applications gratuites et téléchargeables.

VI.4.Scannage des pluviogrammes

Pour le scannage des pluviographes, un scanner à insertion automatique est meilleur, ceci pour respecter une même définition et une disposition identique des papiers donc dans des conditions identiques ; ce qui est difficilement réalisable dans le cas d'un scanner à insertion manuel. L'idée est de réaliser une gestion optimale du temps dans l'utilisation du logiciel. Le fichier paramètre permet de définir un calage unique qui devra s'appliquer à l'ensemble des papiers scannés dans les mêmes conditions.

Le scannage est relativement est très simple. Les pluviographes sont généralement tracés sur du papier de format A3. Le scannage en format tif avec une résolution de 300 Dpi marche bien sans trop détériorer le signal.

VI.5.Fichier paramètre

C'est un élément indispensable pour démarrer le logiciel. C'est un fichier au format txt sous bloc note ou Notepad++. Pour une première utilisation du logiciel un fichier par défaut est proposé. Il identifie les paramètres d'entrée et de sortie du logiciel. Par exemple on peut avoir en entrée les limites de base du signal, le pas d'échantillonnage, les échelles des carreaux du papier et en sortie, le numéro de digitalisation, le format d'impression. En somme il permet de prédéfinir toutes les actions qui seront appelées plus tard dans le calage et numérisation des planches et parmi celles-ci les zooms avancées qui permettent de gagner du temps de façon considérable.

L'ensemble de ces paramètres d'entrée et de sortie sont expliqués dans la prise en main du logiciel en annexe

VII. Difficulté d'utilisation (critique de NUNIEAU)

Quelques difficultés d'ordre matériel, technique et pratique ont été rencontrées au cours de l'utilisation de NUNIEAU.

- ✓ difficulté d'ordre matériel :

Un scanner à insertion automatique est souhaitable pour une longue série de pluviogramme à traiter comme dans le cas de cette étude qui en compte 31 années. (cf prise en main avec un cas simple)

- ✓ Difficulté d'ordre technique

NUNIEAU ne semble pas marcher avec le système Windows Seven car des dysfonctionnements sont constatés à chaque manipulation. Cependant il fonctionne bien Windows XP qui est de plus en plus moins utilisés dans les nouvelles machines.

- ✓ Difficulté d'ordre pratique :

Ce cas est expliqué dans la prise en main du logiciel ANNEXE I.3.3.2 : Limite du signal de couleur

Lame d'eau instantanée :

NUNIEAU ne donne pas de bons résultats concernant les lames d'eau instantanées. En effet les intensités trouvées par NUNIEAU sont inférieures aux intensités réelles lues manuellement sur les pluviogrammes. Le contraste est que les lames d'eau globales sont toujours correctes et ces résultats sont jugés de très bon.

VII.1.Utilisation du logiciel

NUNIEAU est un logiciel avec environnement convivial et agréable à utiliser. La seule difficulté que NUNIEAU rencontre c'est dans la récupération dans certains cas les lames d'eau à des pas de temps faibles par exemple à 5 mn. Ce problème se pose surtout lorsque le signal est vertical c'est-à-dire le signal pluie suit pratiquement l'axe y du pluviographe.

La pluie du 1^{er} août 2009 peut être donnée comme exemple et d'autres pluies moins intenses que cette dernière. Il est bon toujours d'insister que cela est remarqué plutôt pour les pas de temps de 5 mn.

VII.2.Etat des pluviogrammes

La plus grande difficulté se trouve au niveau des pluviographes

- ✓ encre asséchée,
- ✓ changement de couleur d'encre¹ du bleu ou du rouge,
- ✓ beaucoup d'écritures sur certains pluviographes,

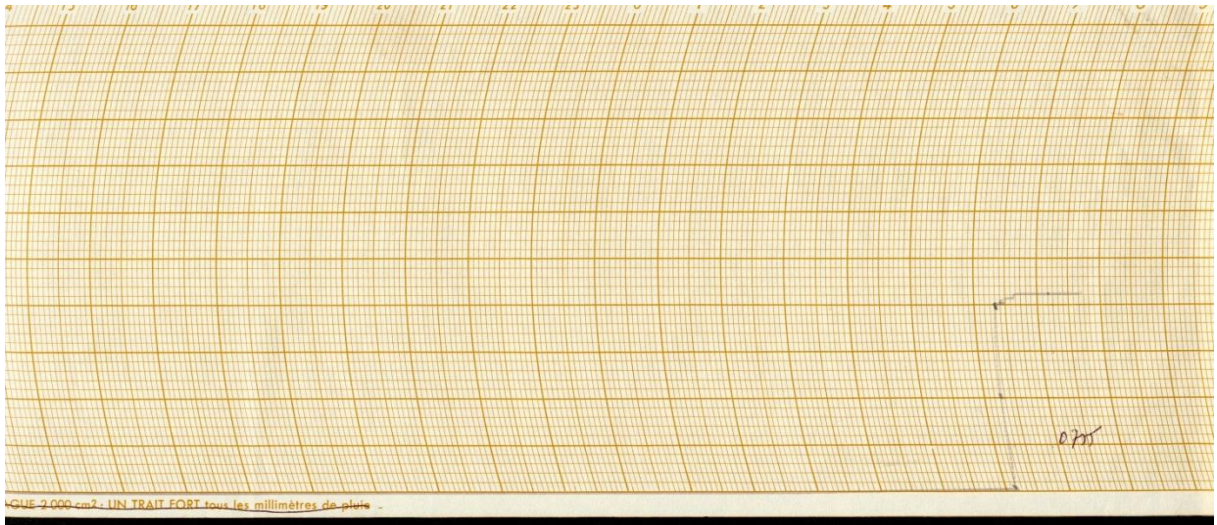


Figure 7 : Encre asséchée

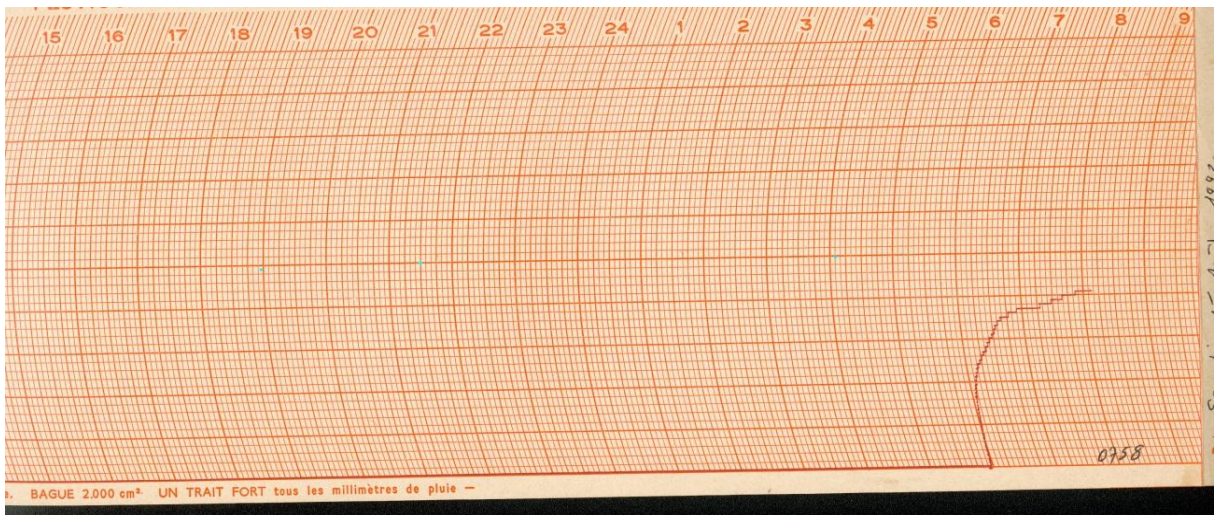


Figure 8 : Pluviogramme fond rouge à encre rouge

¹ La couleur bleu est meilleure que le rouge qui est généralement mal récupéré

VII.3.Schéma récapitulatif

Cette figure montre le condensé des étapes suivies pour arriver à la construction des courbes IDF.

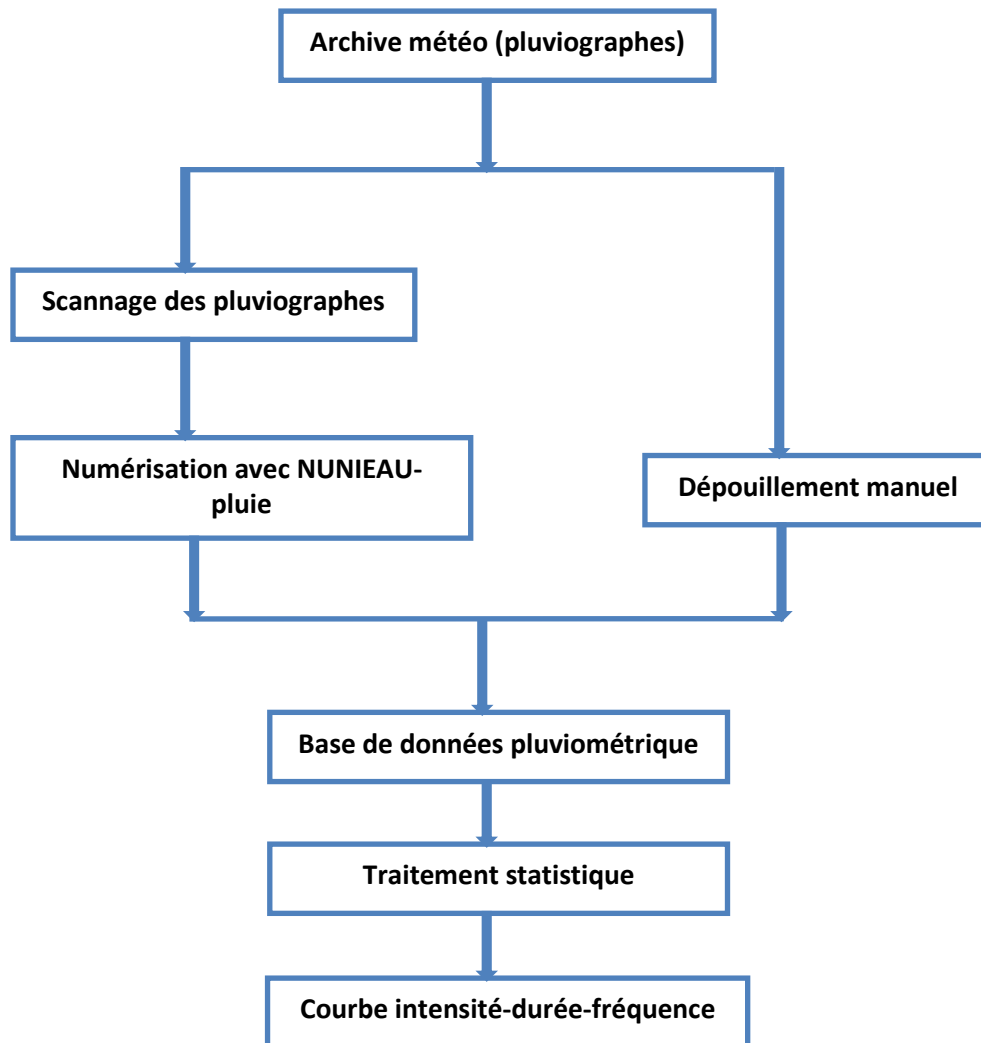


Figure 9 : Organigramme de construction des courbes IDF

VIII. Résultats et Discussion

VIII.1. Résultats et discussion de NUNIEAU

Après l'utilisation de NUNIEAU-pluie et comparaison des lames d'eau trouvée au dépouillement manuel, nous obtenons des résultats concluants.

- ✓ La comparaison des lames d'eau tombée

Sur un total de 310 planches vérifiées manuellement l'écart de hauteur totale d'eau tombée lu sur le pluviographe et la hauteur trouvée reste très faible et dépasse rarement l'ordre du dixième (voir tableau 4). D'après ce que nous avons pu remarquer l'écart observé serait plutôt lié aux erreurs de lecture à la qualité et à l'épaisseur de l'encre du stylet et aussi à un mauvais calage des planches mais aussi aux erreurs d'incertitudes sur la lecture.

- ✓ Les lames d'eau à différents pas de temps (intensité)

En rappel, le dépouillement pour trouver les intensités maximales à un pas de temps Δt peut se faire de deux manières : soit à origine fixe ou mobile, c'est pourquoi on ne peut pas comparer directement les maxima lus par chaque utilisateur et le maximum lu par NUNIEAU. C'est pourquoi il convient de faire une vérification pour trouver la bonne valeur d'intensité.

En conclusion nous pouvons dire que NUNIEAU-pluie est un logiciel très recommandable aux services météorologiques nationaux. NUNIEAU aide à la création d'une base de données pluviométriques plus commode pour un accès plus facile à l'information. Un contrôle des données trouvées est toujours possible s'il y'a un doute quelque part.

Le « **fichier CALAGE** » peut être utilisé à tout moment pour vérification sans qu'il ne soit besoin de reprendre tout le travail de calage

Tableau 4 : Tableau de comparaison des données de dépouillement NUNIEAU-manuel

N° du pluviogramme	OUGA-AERO	Date	Dépouillement manuel	Pas de dépouillement dans NUNIEAU-PLUIE			
				60 min	30 min	15 min	5 min
		JJMMAAAA	en mm				
30082010	OUGA-AERO	30082010	56	55.8	55.9	55.9	55.9
507072010	OUGA-AERO	07072010	23.6	23.7	23.7	23.7	23.7
05092007	OUGA-AERO	05092007	62.1	61.6	61.5	61.5	61.5
26082007	OUGA-AERO	26082007	136	135.1	135.7	136	136
30082004	OUGA-AERO	30082004	36	36.3	36	36	36.4
02092004	OUGA-AERO	02092004	48.5	48.52	48	48.3	48.3
05092003	OUGA-AERO	5050592003	69	70.1	70.1	69.1	69.4
29062003	OUGA-AERO	29062003	66	65.4	67.2	67.2	65.7
	OUGA-AERO						
25062000	OUGA-AERO	25062000	68	69.45	68.4	69.4	68.54
21072000	OUGA-AERO	21072000	23.5	23.4	23.4	23.4	23.4
05091998	OUGA-AERO	05091998	29.5	29.6	30.6	30.6	30.6
25081977	OUGA-AERO	25081977	129	129.3	129.6	129.3	129.3
26051978	OUGA-AERO	26051978	40	40.7	40.6	41.2	41
27051988	OUGA-AERO	27051988	28	28.3	28.3	28.3	28.2
28081992	OUGA-AERO	28081992	24.2	24.4	24.3	24.3	24.3
01071994	OUGA-AERO	01071994	30	30.3	30.4	30.4	30.4

VIII.2.Résultats et discussion des courbes IDF

VIII.2.1.Ajustement des séries et choix des lois statistiques

Après l'ajustement des lois suivantes : loi Exponentielle, la loi de Gumbel, GEV et la loi de Pearson type III sur les maxima annuels ($m = 3n$, $m = 2n$ et $m = n$) de la station de Ouagadougou, un test d'adéquation non paramétrique en plus du test graphique est appliqué à chaque fois. L'application de ce test a donné des résultats acceptables au niveau de signification de 5% pour les trois types d'échantillonnage pour la loi Exponentielle pour tous les pas de temps ce qui n'est pas le cas pour les autres trois lois restantes.

Pour choisir la loi qui convient nous avons en plus superposé les probabilités empiriques de ces lois, le tracé est obtenu sur la figure 10 aux plus faibles valeurs des deux critères. La loi Exponentielle sort alors parmi les lois testées la meilleure qui ajuste convenablement les intensités maximales annuelles de la station de Ouagadougou. Ceci est d'ailleurs renforcé par les études antérieures pour lesquelles il avait été démontré que l'usage de cette loi pour l'Afrique de l'Ouest et Centrale était correct.

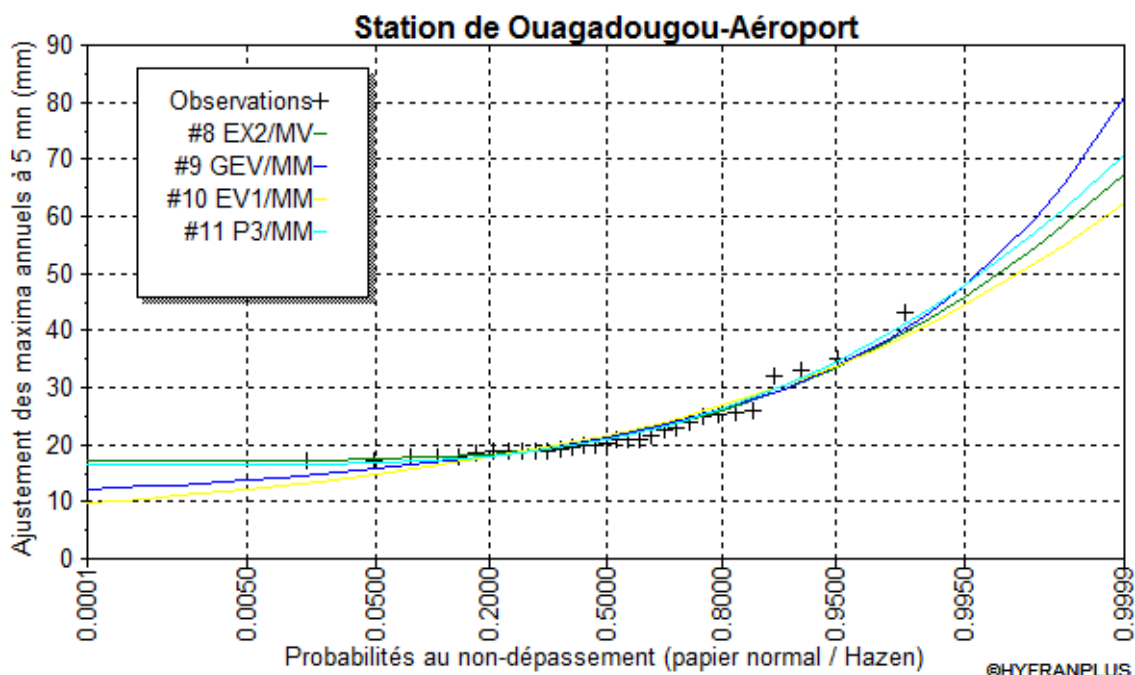


Figure 10 : Graphique de comparaison des ajustements des maxima annuels de Ouagadougou

VIII.2.2.Courbes intensité-durée-fréquence de Ouagadougou

Ce résultat de la figure 11 est le tracé des nouvelles courbes Intensité-Durée-Fréquence issues des ajustements des maxima annuels de la station de Ouagadougou de la période 1977-2011 pour des durées de retour de 2, 5, 10 et 20 ans pour des pas de temps de 5 mn à 1 h.

A travers les courbes IDF, deux lois essentielles se dégagent:

Pour une même période de retour, l'intensité d'une pluie est d'autant plus forte que sa durée est courte.

A durée de pluie égale, une précipitation sera d'autant plus intense que sa fréquence d'apparition sera petite (donc son temps de retour sera grand).

La figure 12 représente le même graphique tracé dans un repère bi-logarithmique. Cette transformation en repère bi-log permet de déterminer facilement les coefficients de Montana. Le signe négatif du coefficient b de Montana est mis en évidence par la décroissance des courbes

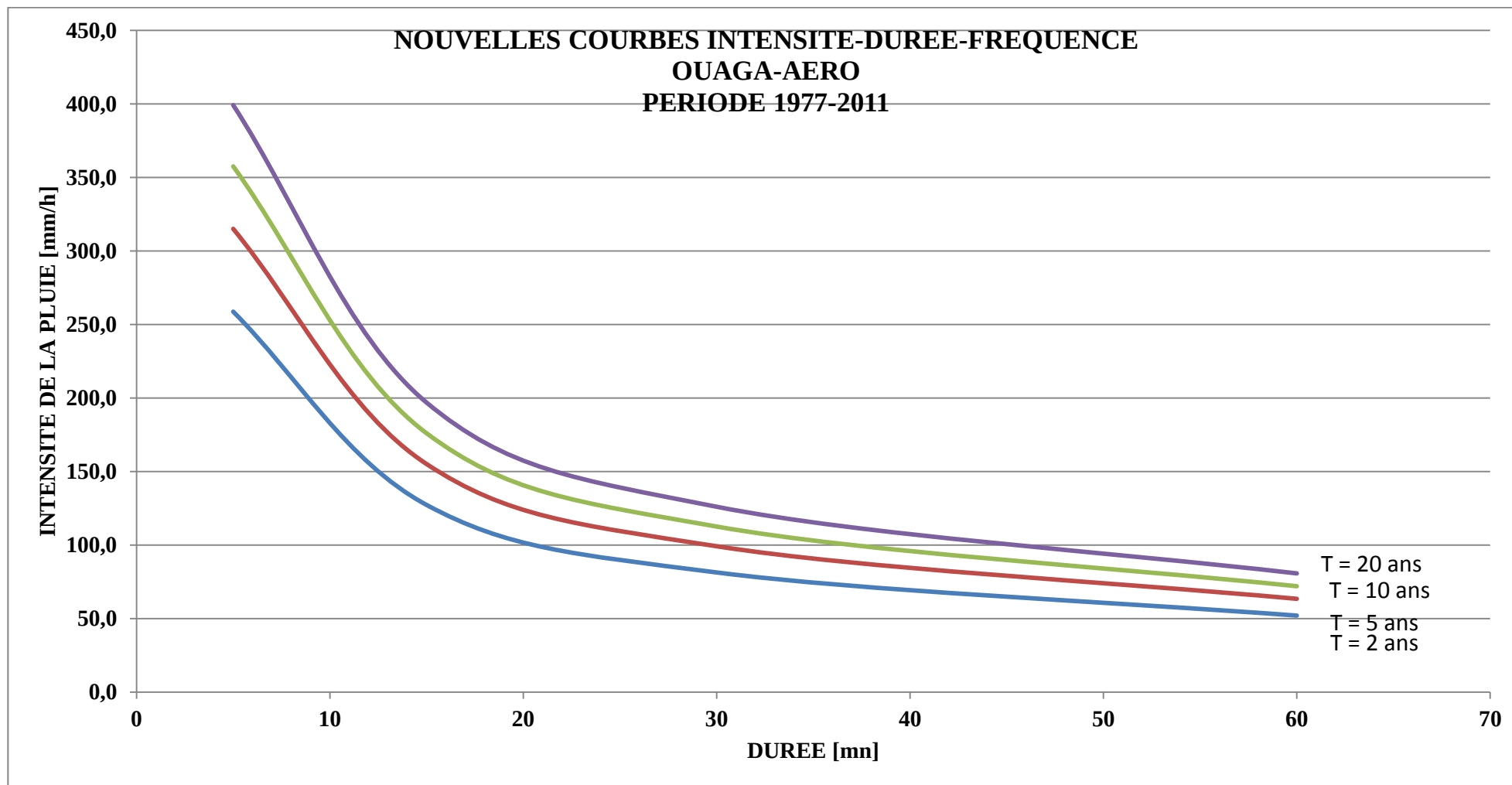


Figure 11 : Courbes Intensité-Durée-Fréquence

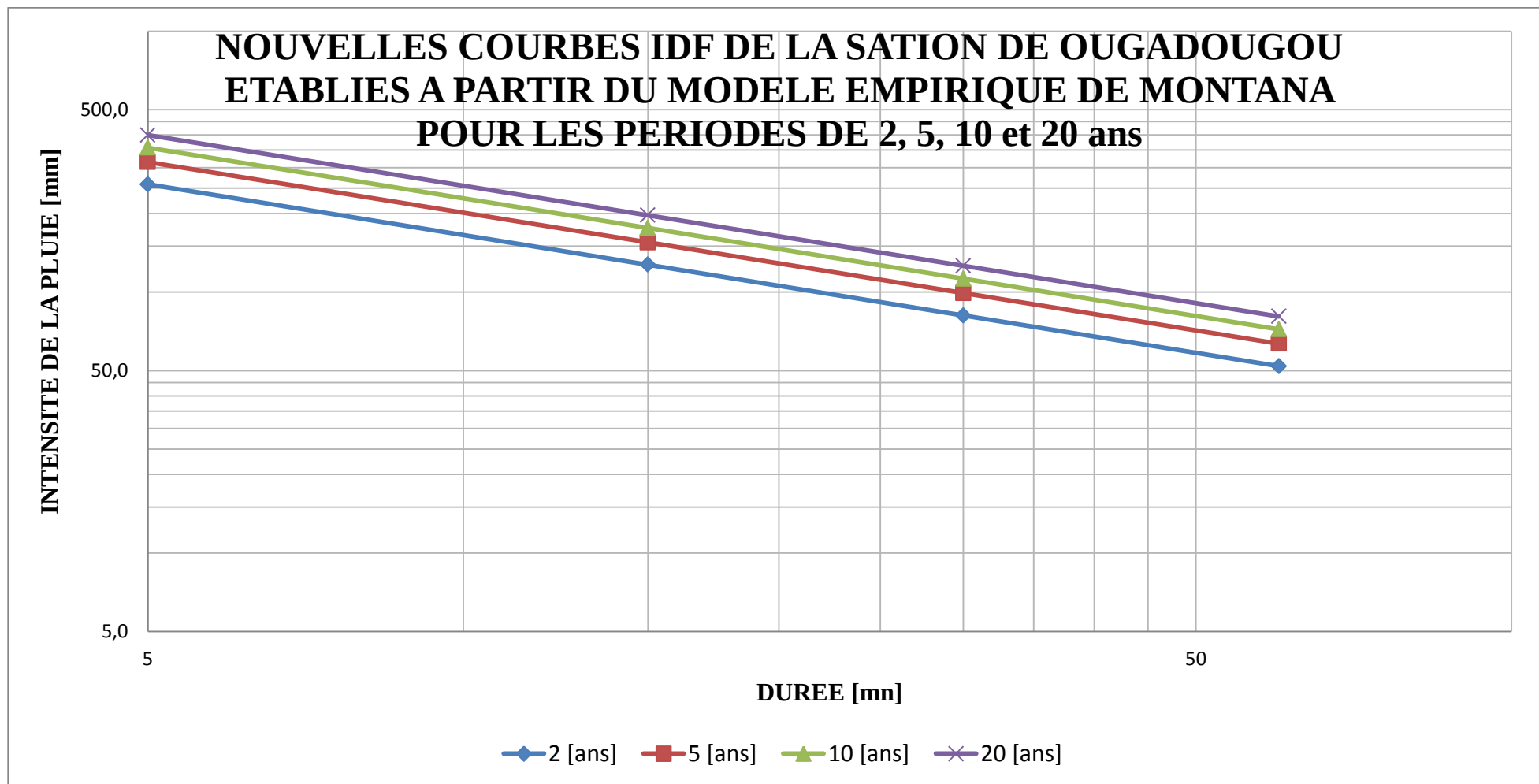


Figure 12 : Courbes IDF établies à partir du modèle empirique de Montana

Tableau 5 : Ajustement des intensités estimées

Ajustement des quantiles : intensités [mm/h] estimées				
Durée de la pluie [mm]	Temps de retour			
	2 [ans]	5 [ans]	10 [ans]	20 [ans]
5	258.7	315.1	357.6	399.2
15	127.3	155.1	176.0	196.9
30	81.3	99.2	112.5	126.0
60	52.0	63.4	72.0	80.7

Tableau 6 : Coefficients de Montana de Ouagadougou

Coefficients de Montana calculés par régression linéaire				
Durée de retour T	Temps de retour			
	2 [ans]	5 [ans]	10 [ans]	20 [ans]
b	-0.65	-0.65	-0.65	-0.64
a	731.6	890.0	1009.9	1124.7

A partir des ajustements, les coefficients de Montana de Ouagadougou donnés dans le Tableau (6) pour des durées de retour de 2, 5, 10 et 20 ans.

Les coefficients de Montana pour la localité concernée permettent aux projeteurs d'estimer l'intensité de pluie probable à la quelle il faut se prémunir pour une durée de vie fixée de l'ouvrage (<=20ans dans cette étude)

.

VIII.2.3.Courbes Hauteur de pluie-durée-fréquence (HDF) de Ouagadougou

Le tableau suivant est le résumé des hauteurs de pluie estimées pour les périodes de retour de 2, 5, 10 et 20 ans qui ont servi à tracer les nouvelles courbes hauteur-durée-fréquence de Ouagadougou figure 13.

Tableau 7 : Quantiles pour les périodes de retour de 2, 5, 10 et 20 ans, (Station Ouaga-Aéro)

Ajustement des quantiles : hauteurs estimées (mm)				
Durée de la pluie [mn]	Temps de retour			
	2 [ans]	5 [ans]	10 [ans]	20 [ans]
5	21.6	26.3	29.8	33.3
15	31.8	38.8	44.0	49.2
30	40.7	49.6	56.3	63.0
60	52.0	63.4	72.0	80.7

Après l'ajustement de la loi exponentielle aux séries des maxima annuels, les nouvelles courbes hauteur-durée-fréquence de Ouagadougou sont générées. Les figures 13 et 14 montrent respectivement les nouvelles courbes 1977-2011 et les anciennes courbes 1954-1982. La comparaison des deux courbes de 0 à 60 mn montre que la forme générale des courbes est respectée. On peut remarquer que pour des pluies de durée 60 mn les intensités que nous avons eues se joignent à celles du CIEH pour la période de retour de 20 ans. Cependant pour de faibles pas de temps de 5, 15 et 30 mn, les valeurs du nouvel ajustement sont au-dessus du premier. Ceci confirme les tendances actuelles à la violence et à la forte intensification des pluies au cours des trente dernières années. La question suivante pourrait être posée pourquoi nous n'avons pas construit les courbes jusqu'à 24 h comme la courbe CIEH (figure 14). En réalité les pluies intenses au-delà de 2 h sont de type mousson d'après le CIEH et ceci n'était pas de nos objectifs de départ, en tout état de cause le principe reste le même.

NB :

Il faut noter que dans le mode d'échantillonnage le total d'échantillon retenu est défini par $m = 3n$. L'ajustement a été fait sur les trois cas d'échantillons c'est-à-dire $m = 3n$, $m = 2n$ et $m = n$ selon le CIEH. Cependant il n'est précisé en aucun cas lequel des échantillons a conduit au tracé des courbes IDF.

Dans ce qui est présenté ici, nous précisons que ces résultats sont issus du cas $m = n$. Dans l'analyse des deux autres cas $m = 3n$ et $m = 2n$, les courbes CIEH dépassent parfois largement les nouvelles, la conséquence de cela est que les pluies des trente dernières années étaient beaucoup plus intenses que celles d'aujourd'hui. Ceci serait alors en contradiction à toutes les études qui prouvent aujourd'hui la tendance inverse à savoir une intensification des pluies par rapport au passé liée aux changements climatiques.

Les résultats des cas $m = 3n$ et $m = 2n$ sont traités annexes.

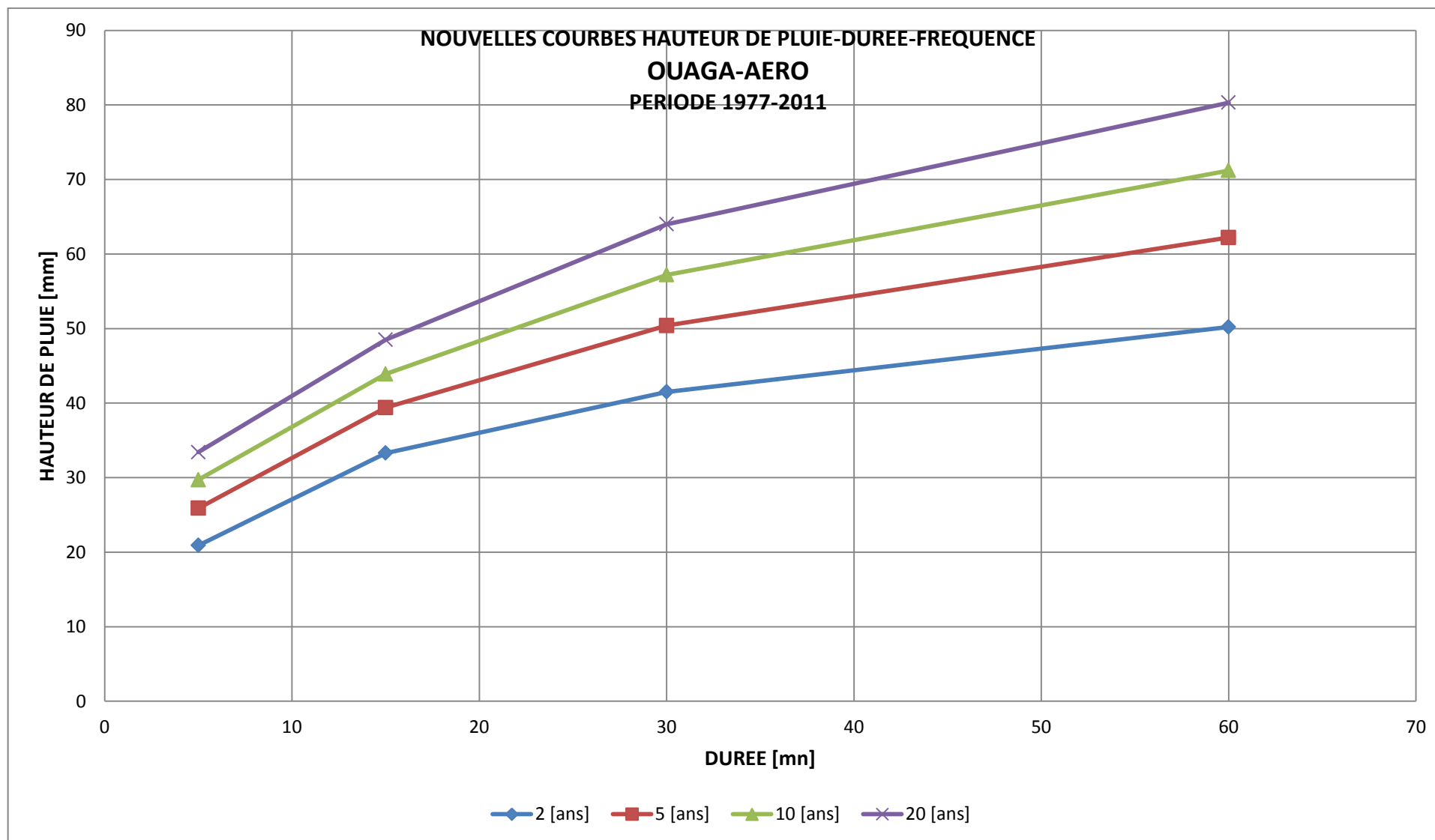


Figure 13 : Nouvelles courbes HDF de Ouagadougou

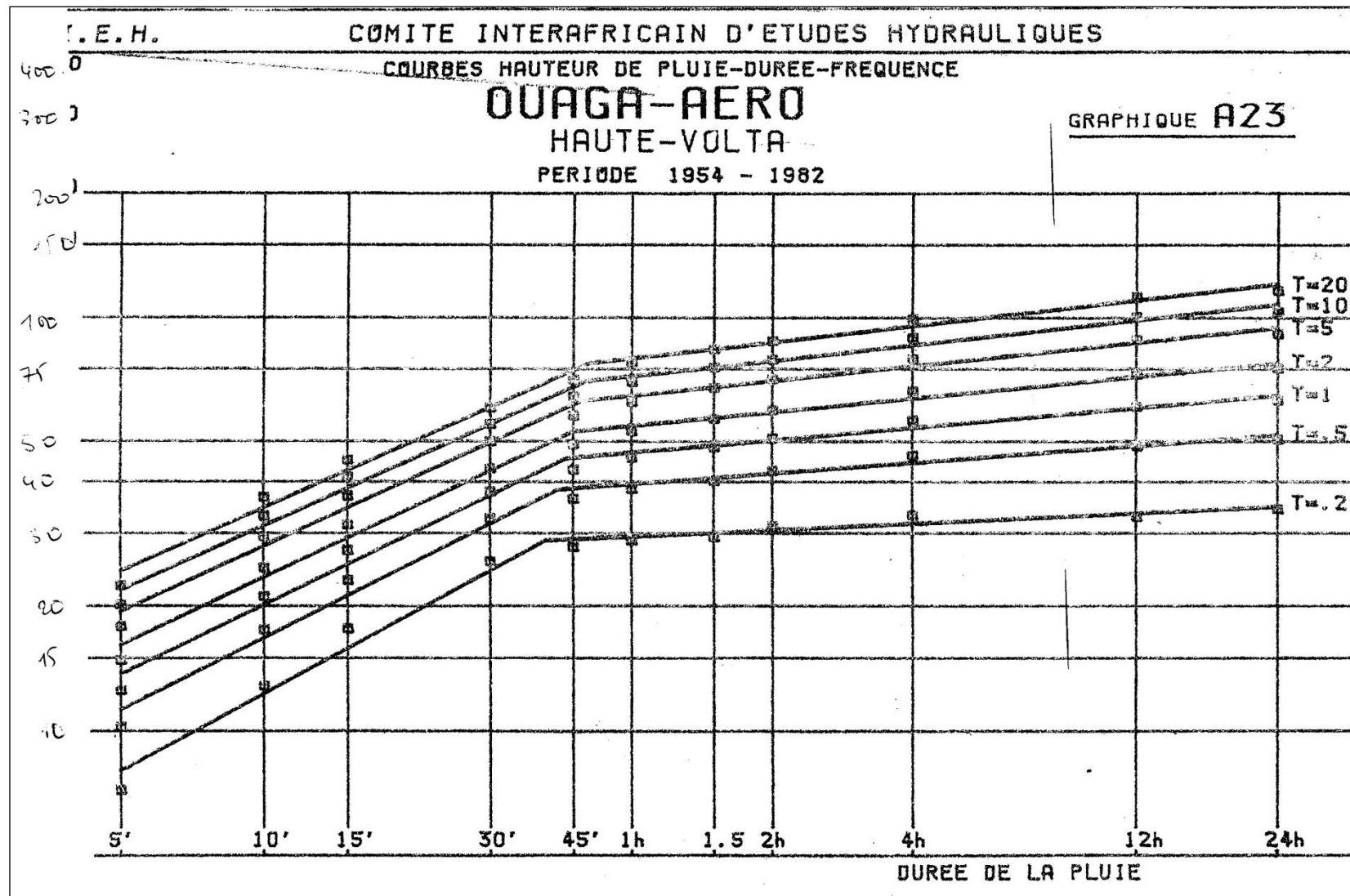


Figure 14 : Courbes HDF-CIEH de Ouagadougou

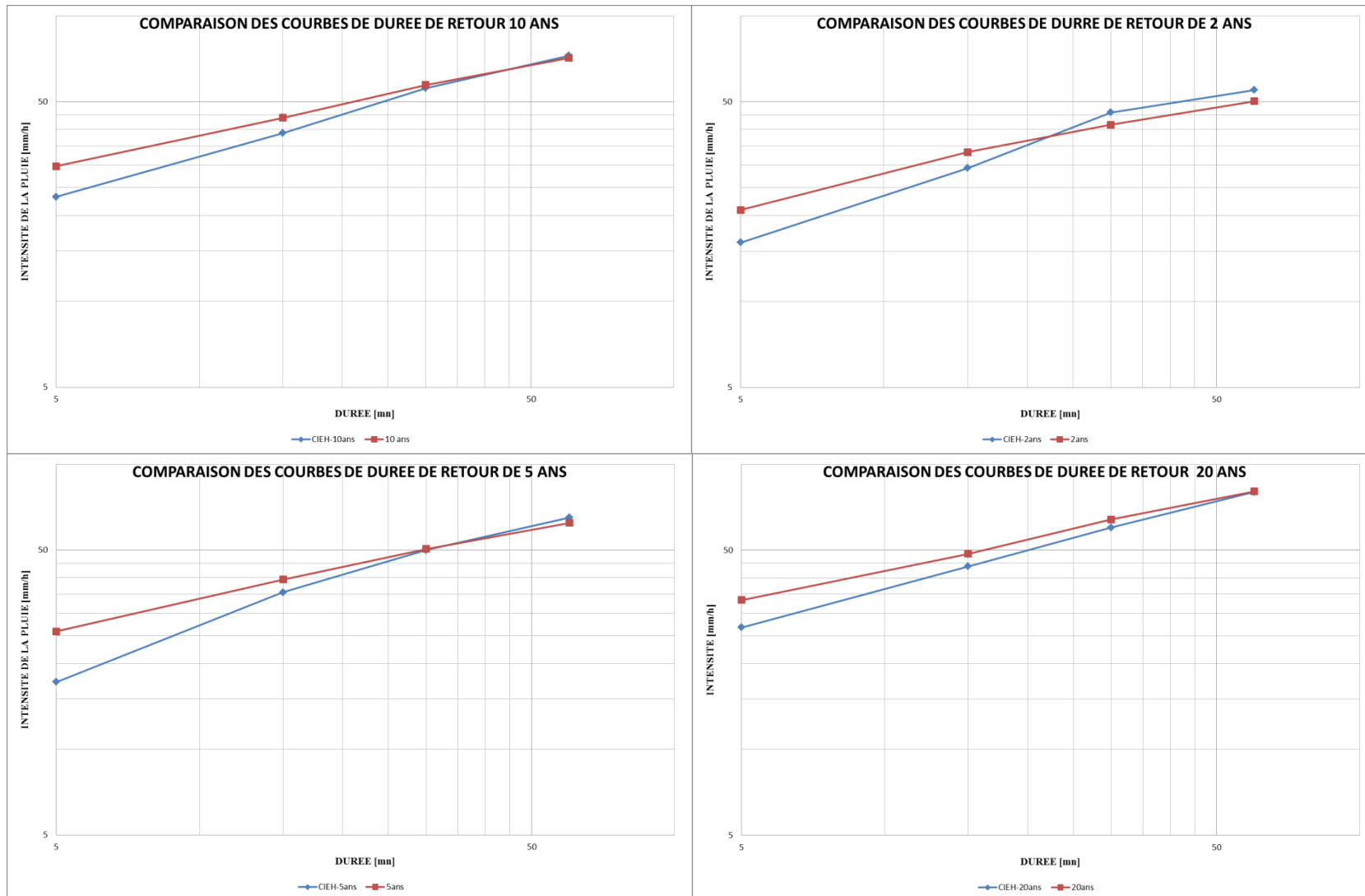


Figure 15 : Comparaison deux à deux des courbes par temps de retour

Ce tableau de valeurs compare les valeurs CIEH et les nouvelles en fonction des périodes de retour. Les valeurs du CIEH ont lues sur la figure 14.

Tableau 8 : Comparaison des quantiles actuelles et du CIEH

Durée [mn]	CIEH- 2ans	2ans	CIEH- 5ans	5ans	CIEH- 10ans	10 ans	CIEH- 20ans	20ans
5	15.0	21.6	18.2	26.3	20.0	29.8	22.6	33.3
15	31.8	31.8	37.3	38.8	41.2	44.0	45.0	49.2
30	43.5	40.7	50.0	49.6	55.6	56.3	62.5	63.0
60	54.0	52.0	63.7	63.4	70.2	72.0	79.1	80.7

VIII.2.4.Discussion des écarts :

La mise à jour des courbes intensité-durée-fréquence de la station de Ouagadougou a permis de de mettre en évidence la recrudescence des évènements pluvieux au cours de la période 1977-2011. Les écarts d'intensité sont perceptibles pour les pluies de courte durée et très faibles pour les pluies au-delà de 30 mn. Ainsi la nature de ces écarts assez faibles ne permet pas de remettre en cause le dimensionnement des ouvrages par les valeurs du CIEH utilisées jusqu'ici.

Une évolution de ces écarts de faibles à forts impliquerait plus d'exigence dans le dimensionnement des ouvrages en matière de qualité et dosage des bétons ce qui n'est pas sans conséquence sur le coût du mètre cube (m^3) de béton.

IX. Conclusion

Les résultats de cette étude mettent en évidence l'intensification des pluies de courte durée mesurée à la station de Ouagadougou au Burkina Faso. Il est montré dans ce mémoire une augmentation d'intensité des pluies sur les pas de temps plus faibles. L'information recueillie des archives nous ont permis de constater l'influence réelle des changements climatiques au cours de ces quarante dernières années sous l'aspect recrudescence des fortes pluies. Il est certain que la pluie du 1^{er} septembre 2009 a contribué avec force sur les ajustements. Les travaux du CIEH sur la station de Ouagadougou et de façon générale restent une référence. Une coïncidence des ajustements du CIEH et de cette étude est remarquée pour les pluies de longue durée. Ce résultat vient confirmer la robustesse des travaux antérieurs et de l'applicabilité de la loi exponentielle aux pluies de l'Afrique de Ouest et Centrale.

Nunieau-pluie a été d'un apport technique incontournable dans la réalisation de ce projet. En effet, ce nouvel outil de Numérisation des Niveaux d'EAU en rivière ou mer conçu par les Centres d'Études Techniques de l'Équipement Méditerranée (CETE) a fait ses preuves non seulement dans la gestion du temps dans le dépouillement de plusieurs centaines de pluviogrammes en si peu de temps mais surtout dans la précision des résultats obtenus et la fiabilité de ces derniers. La comparaison des résultats de dépouillement manuel avec les résultats de NUNIEAU atteste de la qualité de ce logiciel. Un logiciel avec un environnement agréable assez bien fourni pour être recommandé vu de son apport innovant et de qualité.

Ainsi ce mémoire tire son importance dans son double rôle à savoir le rôle de test du logiciel NUNIEAU et la mise à jour des courbes IDF de la station de Ouagadougou au Burkina Faso. Au terme de cette étude l'impact des changements climatiques au cours de ces quarante dernières années est mis en évidence, la qualité du nouvel logiciel NUNIEAU avéré, une base de données pluviométriques des maxima annuels de la station de Ouagadougou constitué puis les courbes IDF de Ouagadougou mise à jour.

En perspective cette étude pourrait être élargie à toutes les stations synoptiques du Burkina, de la sous-région et de l'Afrique toute entière qui est l'un des continents qui souffre le plus de l'impact des changements climatiques. Contrairement au dépouillement manuel qui est fastidieux, NUNIEAU pourrait donner le courage et le goût de traiter les archives des météo nationaux et constituer des bases de données facile d'accès.

Nous espérons que ce document pourra servir d'outil de base technique à l'ingénierie.

X. REFERENCES

- CIEH. (1984). Courbes hauteur de pluie-fréquence Afrique de l'Ouest et Centrale pour des pluies de durée 5 mn à 24 h.
- Frappart F. et al. (2009). "Rainfall regime across the Sahel band in the Gourma region, Mali." 128-142.
- Dione O. (1992). Ajustement statistique à des échantillons de pluies et débits : application aux données du bassin versant de la Falémé : Rapport de stage de DEA - p. 31.
- Roux C. (1996). Analyse des précipitations en hydrologie urbaine : exemple de la Seine-Saint-Denis - pp. 61-86.
- Prodanovic P. et Simonovic S. P. (2004). Assessment of Water Resources Risk and Vulnerability to Changing Climatic Conditions.
- Mohymont B. et Demarée G. R. (2006). Courbes intensité—durée—fréquence des précipitations à Yangambi, Congo, au moyen de différents modèles de type Montana Hydrological Sciences Journal. : Vol. 51. - pp. 239-253.
- CETE. (2005). Digitalisation d'enregistrements de marégraphes ou de limnigraphes [Rapport] / aut. Méditerranée. - p. 69.
- Laborbe J.P. (2000). Eléments d'hydrologie de surface. - p. 204.
- Benabdesselam T. et Y. Hammar (2009). Estimation de la réponse hydrologique d'un bassin versant urbanisé. European Journal of Scientific Research. : Vol. 29. - pp. 334-348.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (2001). Incidences de l'évolution du climat dans les régions : évaluation de la vulnérabilité Afrique
- Lam K. et Milton J. (2004). Mise à jour des courbes d'intensité durée fréquence des pluies de courte du climat récent au Québec.
- CETE Méditerranée. (2011). Prise en main du logiciel nunieau-pluie version dédiée à la numérisation des pluviogrammes.

Secretariat permanent pour l'environnement et le développement durable. (2006). Programme d'action national d'adaptation à la variabilité et aux changements climatiques (PANA du Burkina Faso).

Paturel J. E. et Servat E. (1998). Variabilité du régime pluviométrique de l'Afrique de l'Ouest non sahélienne entre 1950 et 1989 : Hydrological Sciences Journal : Vol. 43. - pp. 921-935.

LES ANNEXES

SOMMAIRE DES ANNEXES

ANNEXE N°1

ANNEXE I : PRISE EN MAIN DANS UN CAS SIMPLE

ANNEXE I.1 : Scannage des pluviogrammes

ANNEXE I.2 : Nature des traitements

ANNEXE I.3 : Paramètres d'entrée et de sortie

ANNEXE I.3.1 : Fichier paramètres.txt

ANNEXE I.3.2 : Définition des paramètres généraux pour le calage (numérisation)

ANNEXE I.3.3 : Calage d'une ou de plusieurs images

ANNEXE I.3.3.1 : Zoom de calage

ANNEXE I.3.3.2 : Limite du signal de couleur

ANNEXE I.3.3.3 : Nettoyage de l'image

ANNEXE I.3.3.4 : Fiche de Renseignements

ANNEXE I.3.3.5 : Exportation du Fichier de calage

ANNEXE I.3.3.6 : Exportation du Fichier de calage et sortie

ANNEXE I.3.4 : Numérisation d'une ou plusieurs images

ANNEXE I.4 : Conclusion

ANNEXES N°2

LISTE DES FIGURES :

Figure 5 : Définition des paramètres généraux	55
Figure 6 : Position des points de calage	57
Figure 7 : Limite du signal de couleur	59
Figure 10 : Pluviogramme (15-06-2011 à Ouagadougou)	63
Figure 11 : Les six (06) points de calage	65
Figure 12 : Images de début du calage et de fin du calage.....	66
Figure 13 : Fichier résultat après l'étape de numérisation	66

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau 10 : Dépouillement pour un pas de 5 mn.....	67
---	----

ANNEXE I : PRISE EN MAIN DANS UN CAS SIMPLE

L'étude porte sur les pluies annuelles extrêmes de la série chronologique de 1977-2011 de la station de Ouagadougou. Le dépouillement de cette série de pluviogrammes longue de 31 ans par NUNIEAU nous permettra de récupérer l'information sur les pluviogrammes d'abord et de considérer les événements pluvieux les plus intenses pour chaque année et pour des durées de 6, 15, 30 et 60 mn, pour subir ensuite les traitements statistiques convenables à la nature des données.

ANNEXE I.1 : Scannage des pluviogrammes

Pour le scannage des pluviogrammes, un scanner à insertion automatique est meilleur, ceci pour respecter une même définition et une disposition identique des papiers donc dans des conditions identiques ; ce qui est difficilement réalisable dans le cas d'un scanner à insertion manuel. L'idée est de réaliser une gestion optimale du temps dans l'utilisation du logiciel. Le fichier paramètre permet de définir un calage unique qui devra s'appliquer à l'ensemble des pluviogrammes scannés dans les mêmes conditions. L'opération de scannage est relativement simple. Les pluviogrammes sont généralement tracés sur du papier de format A4. Le scannage en format tif avec une résolution de 300 Dpi marche bien sans trop détériorer le signal.

ANNEXE I.2 : Nature des traitements

L'étude porte sur les pluies annuelles extrêmes de la série chronologique de 1977-2011 de la station de Ouagadougou. Le dépouillement des pluviographes nous permettra de récupérer l'information sur les pluviographes d'abord et de considérer les événements pluvieux les plus intenses pour chaque année et pour des durées de 5, 15, 30 et 60 mn, pour subir ensuite les traitements statistiques convenables à la nature des données.

ANNEXE I.3 : Paramètres d'entrée et de sortie

Dans ce qui suit, il sera développé les paramètres essentiels pour la prise en main du logiciel. On note essentiellement :

- ✓ Fichier de paramètre,
- ✓ Calage d'une image,
- ✓ Numérisation d'une image.

ANNEXE I.3.1 : Fichier paramètres.txt

Ce fichier peut être qualifié du cœur de NUNIEAU. L'exemple du fichier paramètre qui suit peut être utilisé pour les pluviographes dans nos stations météorologiques de façon générale ainsi ce paramétrage convient bien sauf à deux niveaux où l'on peut avoir des changements majeurs à effectuer sur le fichier paramètre.

- ✓ Le premier niveau de changement intervient lorsque le format papier n'est plus du A4 qui a servi de base dans ce calage. De ce fait si l'on trouve dans le cas de format autre que du A4 par exemple A3, il faudra alors évaluer le nombre de carreau suivant x qui passe alors de 16 à 25 carreaux pour les pluviographes habituels utilisés ici.
- ✓ Le deuxième niveau concerne les zooms personnels qui devront subir des changements aussi (cf. zooms de calage).

On peut choisir d'utiliser ce paramétrage mais ce qui importe plus c'est de comprendre et de savoir la signification de chaque paramètre ; c'est ce que nous allons montrer dans la suite. Ainsi vous trouverez dans la présentation des menus et sous menus les explications des autres éléments du fichier paramètre.

%---- Limite de base du signal (trois couleurs R V B) par défaut

0 180;0 190;0 220

%---- Pas d'échantillonnage en temps (minutes) par défaut

5 15 30 60

%---- Nombre de carreau suivant x et y 186 représente le nombre d'heure sur une feuille par défaut

16 10

%---- recul des points de calage par défaut

0 0

%---- échelle des carreaux en heure et cm par défaut

1 5

%---- Calage en hauteur par défaut

0 0 05

%----- couleur des points récupérés [255 0 0] rouge et couleur des points supprimés [0 255 0] vert par défaut

0 255 0;255 120 255

%----- dossier de sauvegarde des images par défaut (\ correspond au répertoire courant) ou
c:\temp ...

c:\Image

%----- date de la feuille par défaut

09-05-2007

%----- Commentaire par défaut

RAS

%----- Date et Heure de pose de la feuille par défaut

09-05-2007 13:05:00

%----- Valeur notée à la pose de la feuille par défaut

-9999

%----- Date et Heure de retrait de la feuille par défaut

09-01-2009 19:20:00

%----- Valeur notée au retrait de la feuille par défaut

-9999

%----- décalage en heure par défaut

0

%----- décalage en hauteur par défaut

0 0

%----- Numéro de digitalisation par défaut

1

%----- Calcul des points gardés en temps réel choix 0 ou 1 (seuls les pixels gardés sont récupérés
mais cela consomme du temps)

1

%----- Zoom personnel pour les 6 points de calage

360 560 20 100

325 375 710 730

410 490 1360 1390

3310 3390 1345 1380

3330 3390 35 65

3235 3265 700 714

%----- Nombre de zooms pour la vérification

10

%---- nombre de pixels sur la largeur sur laquelle les polygones automatiques à ± 3 rms sont créées

1 10 2

%---- Impression des fichiers jpg

1



Exemple de fichier paramètre

ANNEXE 1.3.2 : Définition des paramètres généraux pour le calage (numérisation)

Cette fenêtre sert de vérification des paramètres qui ont été entrés dans le fichier paramètre. Elle permet de voir le paramétrage qui a été fait en amont. Elle permet aussi de faire des modifications en cas d'omission. Par exemple supposons que nous ayons besoin d'avoir les intensités de pluie mesurées à des pas de 5 mn à 24 h. Sur la figure 10 nous avons entré de 5 à 60 mn donc il faut ajouter directement les pas 1.5 h, 2 h, 4 h, 12 h puis 24 h (on convertira l'heure en mn) puis faire « **ok** ».

NB :

Une modification peut être faite directement sur cette fenêtre ; cependant cette modification n'est pas très efficace pour le traitement d'une longue série de pluviogramme à traiter car il faudra effectuer la même pour toutes les planches à caler. Ainsi pour une solution efficace il convient d'effectuer toutes modifications dans le fichier paramètre. Et il faudra redémarrer NUNIEAU pour la prise en compte des dernières modifications.

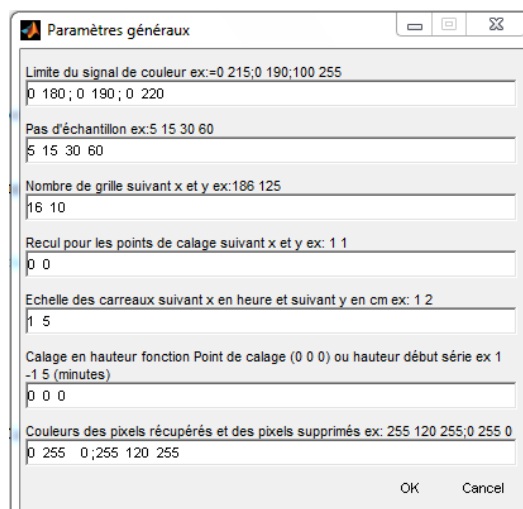


Figure 2 : Définition des paramètres généraux

- ✓ La limite du signal de couleur à récupérer en Rouge-Vert-Bleu correspond à la plage de couleur qui sera récupérée par le logiciel. Les plages des différentes couleurs sont définies comme suit : verte entre 0 et 215, rouge entre 0 et 190 et bleu entre 100 et 255.

Ces plages de couleur sur la figure 10 conviennent dans la plupart des cas de calage des pluviogrammes. Au cas où le signal est mal récupéré ces plages peuvent être modifiées

Le Tableau 8 montre d'autres combinaison de plages qui ont été utilisées.

Tableau 8: Tableau des bandes de couleur utilisées

	Rouge		Vert		Bleu	
Pluviographes	mini	maxi	mini	maxi	mini	maxi
	0	180	0	190	0	220
	0	188	0	190	0	220
	0	192	0	190	0	220
	0	198	0	190	0	220

- ✓ Le pas d'échantillon indique le pas de temps auquel sera récupéré le signal pendant la numérisation. Ainsi une lame d'eau sera mesurée à chacun de ces pas de temps choisis 5, 15, 30 et 60 mn sur toute la durée de la pluie.
- ✓ Le nombre de grille correspond au nombre de carreau sur le pluviographe on en compte 25 sur l'horizontal mais si le pluviographe est scanné en format A4 on compte 16 carreaux sur l'axe des abscisses qui désignent le temps et 10 carreaux sur l'ordonnée désignant la hauteur de pluie.

- ✓ Le recul est directement lié au calage. En effet, un recul est choisi par exemple placer les points à un carreau de l'extrémité de la feuille suivant x et y (1,1) ou bien même aux extrémités de la feuille dans le cas d'un recul nul (0,0). Nous conseillons ce dernier recul (0,0).
- ✓ Du nombre de carreaux suivant l'axe des abscisses et des ordonnées découle l'échelle ainsi on a alors un carreau qui correspond à l'heure (1 carreau → 1 h) en abscisse et un carreau à 5 mm suivant l'axe des ordonnées (1 carreau → 5 mm). Donc la hauteur d'eau maximale mesurée sur un pluviographe sans retournement est de 50 mm habituellement sur le format étudié ici (cf. figure 10).

ANNEXE I.3.3 : Calage d'une ou de plusieurs images

Caler c'est placer notre pluviographe en format image dans un repère (x ;y) après avoir construit ce repère au fil des étapes que nous avons suivi jusqu'ici. Il est important de rappeler que les pluviographes sont enregistrés sur un papier représentant des axes non orthogonaux car l'axe des y est courbe. Par contre NUNIEAU représente des axes orthogonaux donc le problème est de superposer les centres de ces deux repères définis. Caler c'est alors faire coïncider les centres des deux repères pour récupérer l'information du papier. Toutes ces manipulations et celles qui suivront jusqu'à la fin du calage sont consacrées dans une grande matrice appelée « Fichier CALAGE ». Ceci correspond alors au calage qui consistera à placer six (06) sur la feuille.

ANNEXE I.3.3.1 : Zoom de calage

NUNIEAU offre deux types de zooms pour placer les points de calage :

- ✓ Zoom sur la feuille

Il est relativement simple, il s'agit d'un zoom fenêtre qui sera fait sur chacun des six (06) points de calage. L'intérêt des zooms c'est de bien placer les point de calage Nécessairement ce choix de zoom prend plus de temps par rapport au deuxième type de zoom qui est être qualifié «d'automatique».

- ✓ Zoom du fichier de paramètres

Il est important de se rappeler de la notion de recul définie plus dans les paramètres généraux. Caler c'est placer six (06) points suivant un recul. Ces six (06) points de calage sont donnés dans cet ordre.

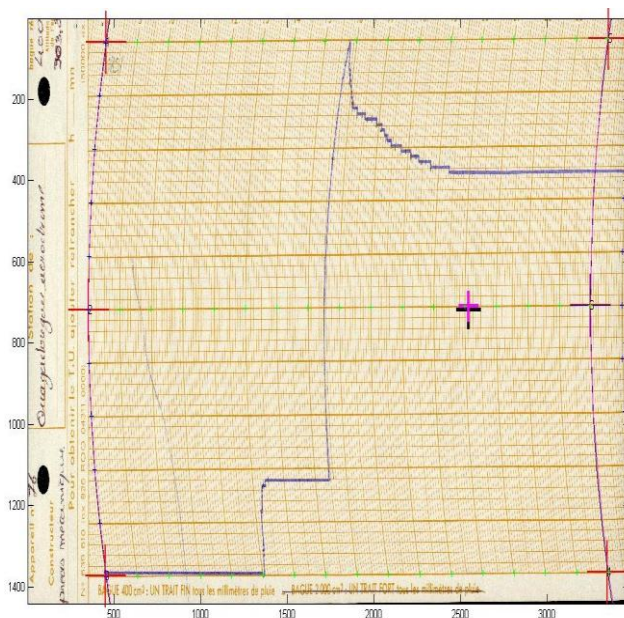
- ✓ En haut à gauche,
- ✓ Niveau origine à gauche,

- ✓ En bas à gauche,
- ✓ En bas à droite,
- ✓ En haut à droite,
- ✓ Niveau origine à droite,

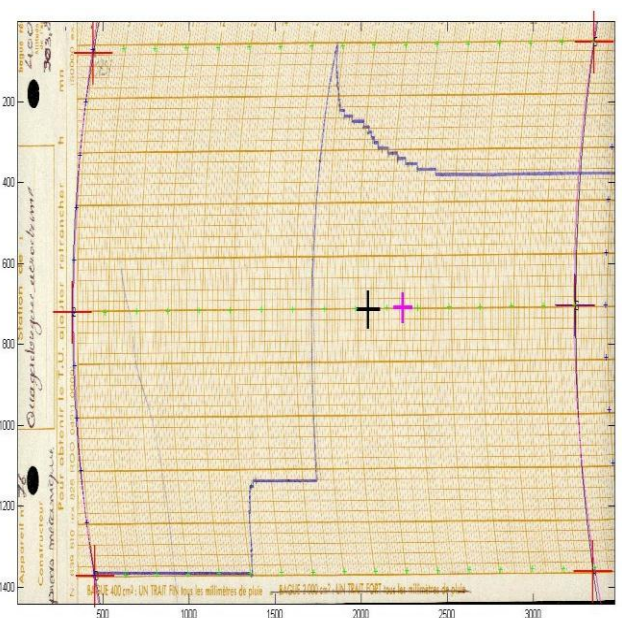
En appliquant le zoom sur la feuille sur un point de calage vous remarquez des coordonnées Xmin ; Xmax et Ymin ; Ymax sur le repère défini dans le logiciel. En réalité, ces coordonnées définissent un rectangle (carré) dans lequel le point de calage sera placé. Ces quatre (04) coordonnées seront relevées et placées dans le fichier paramètre au niveau des zooms personnels (voir fichier de paramètre). Les coordonnées des six (06) points de calage seront relevés comme expliqué.

Dans le cas de « **zoom du fichier de paramètre** » les emplacements des points de calage (figure 8) se suivent automatiquement au fur et à mesure que l'on clique sur **ok**. Une appréciation du calage est possible pour s'assurer d'un bon ou mauvais calage.

L'avantage du « **zoom du fichier de paramètre** » est que son exécution devient automatique après cette définition que nous venons de faire. Ainsi cette commande est utilisable pour série de pluviogramme scannée dans des conditions identiques (voir scannage des pluviogrammes).



Calage acceptable



Mauvais calage

Figure 3 : Position des points de calage

Nous pouvons remarquer plusieurs éléments sur la même figure 8 à part les six (06) points de calage : le recul, les écritures, la qualité du calage qui est définie par la coïncidence de deux croix magenta et noir ; (ces croix correspondent aux centres des repères de cercles visibles lors l'exécution de la numérisation). Les surcharges sur les pluviographes seront nettoyées par le logiciel : les écritures, les ratures et toutes autres taches différentes du signal de pluie, ici tracé en bleu.

ANNEXE I.3.3.2 : Limite du signal de couleur

- ✓ Changer les valeurs de base et calculer

Dans ce menu principal, nous avons plusieurs actions telles que : « **Changer les valeurs de base et calculer** ». Ceci permet d'appeler la bande de couleur entrée dans le fichier paramètre pour la récupération du signal. En rappel, dans le principe de fonctionnement nous avons expliqué que le logiciel doit distinguer le tracé de la pluie uniquement sur l'ensemble du papier sans prendre en compte des surcharges. Cette reconnaissance se reconnaît par une coloration en vert du signal c'est là, la notion de signal bien récupéré ou non ; bien sûr tout ceci est fonction de la bande de couleur et qui est choisie au départ. Nous avons dit dans le paragraphe « **Définition des paramètres généraux** » que celle proposée par défaut convient dans la plupart des cas.

NB :

Il me paraît important d'attirer l'attention pour l'utilisation du logiciel à ce niveau avant de continuer sur le-sous- menu suivant qui est le « **Nettoyage de l'image** ». Après avoir fini avec « **changer les valeurs de base et calculer** », le signal devient vert il faut sortir de la fenêtre présente avec « **Retour** » puis cliquer sur ce menu « **Limite du signal de couleur** » une fois encore et en ce moment le signal n'est plus vert. Sans cette action aller-retour un dysfonctionnement met fin à la manipulation et le logiciel cesse de fonctionner. L'intérêt de ce retour sur cette action c'est de pouvoir visualiser toutes les zones à nettoyer dans la suite sinon l'autre façon de faire c'est de sauter le menu limite du signal de couleur, aller directement sur le menu « **Nettoyage de l'image** », finir avec ce menu pour retourner dans « **Limite du signal** » et l'exécuter comme expliqué précédemment.

Les deux cas de figure sont possibles dans le second ce qui peut être l'inconvénient c'est qu'on pourrait ne pas apprécier toutes les zones susceptibles d'être nettoyées.



Figure 4 : Limite du signal de couleur



Figure 8 : Choix pour l'élimination du bruit

ANNEXE I.3.3.3 : Nettoyage de l'image

Cette option (cf. figure 12) permet de nettoyer les planches des bruits comme les écritures ou autres informations souvent écrites sur le pluviographe ou bien des taches,... bref de l'ensemble des pixels récupérés en dehors du signal.

✓ Zone à garder

La « **zone à garder** » permet de délimiter la zone du signal sur le pluviographe, elle se fait par deux clics définissant un rectangle qui englobe la zone concernée. C'est une option obligatoire si l'image est non vide.



Figure 9 : Exemple de sélection de Zone à garder

✓ Zone à supprimer

La « **Zone à supprimer** » permet de sélectionner une partie de l'image qui n'est pas considérée dans le signal ou les pixels défavorables. Elle est aussi définie par deux clics formant un rectangle qui englobe la zone à supprimer.

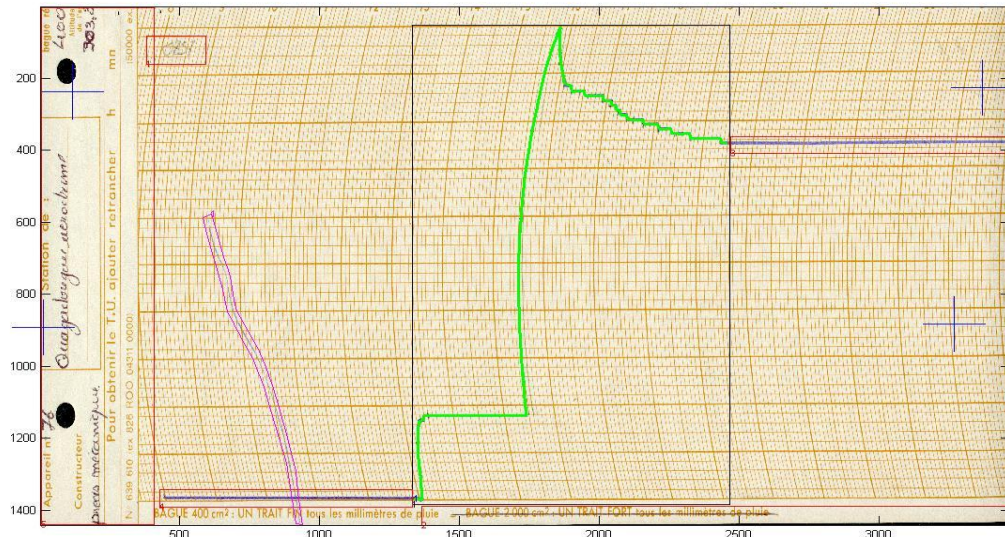


Figure 10 : Exemple de sélection de zone à supprimer

✓ Polyligne pour supprimer

La « Polyligne pour supprimer » permet de créer une polyligne tout autour des zones à supprimer. Une échelle en pixels verticaux et horizontaux est proposée ainsi par un clic sur « **ok** », la polyligne est créée avec des clics gauches qui déplacent le zoom.

✓ Polyligne pour garder

L'option polyligne pour garder est partie de deux demandes :

- Une demande lorsque le signal est trop faible pour être détecté dans une bande de couleur, à ce moment-là cette option permet de sélectionner les points dont on souhaite récupérer la valeur.
- de sélectionner la zone d'intérêt et ensuite de supprimer tout ce qui est au-dessus ou au-dessous de cette zone avec un intervalle de pixel.

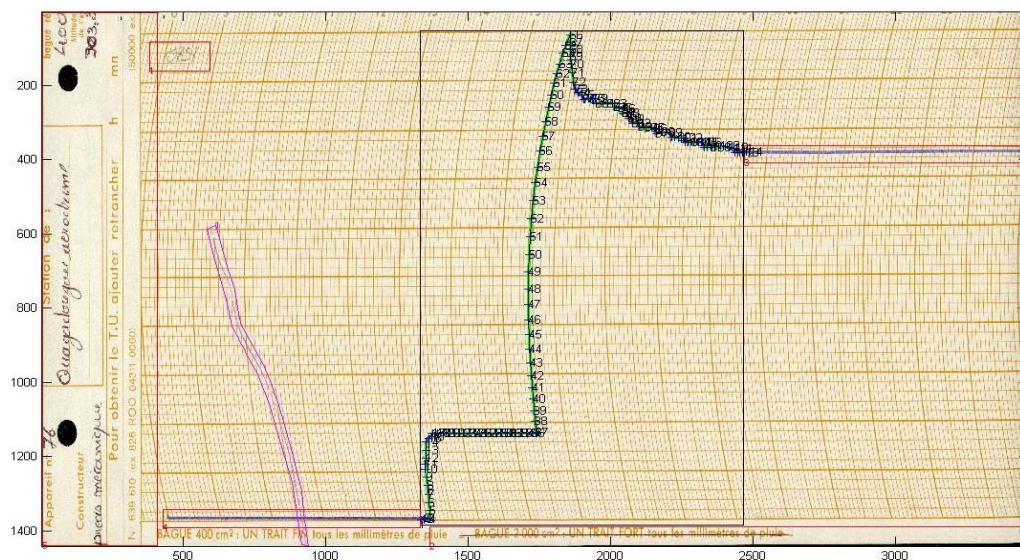
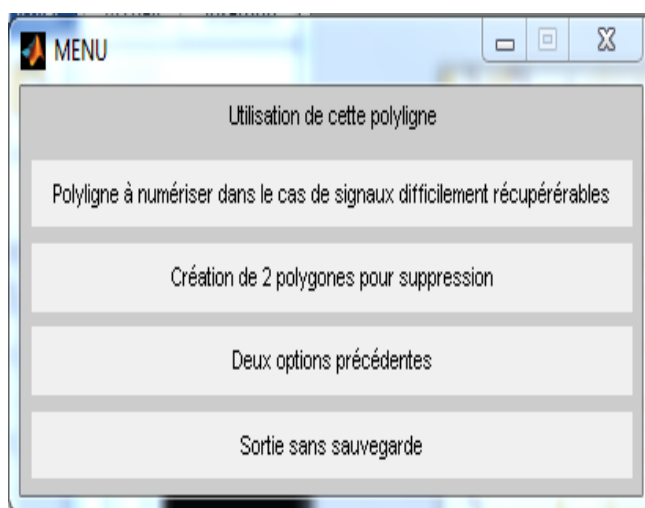


Figure 11 : Exemple de sélection de polyligne à garder



Après cette sélection, plusieurs choix se présentent à l'utilisateur. La première permet de récupérer les signaux trop faibles, la seconde crée des polylignes à supprimer à une distance en pixel par l'utilisateur. La troisième option utilise les deux précédentes.

Figure 12 : Menu de polyligne à garder

ANNEXE I.3.3.4 : Fiche de Renseignements

Dans cette étape, l'utilisateur donne les informations sur le pluviographe. La date et l'heure de pose du pluviographe ainsi que la date et l'heure de retrait du pluviographe. Nous allons montrer un exemple sur le pluviographe utilisé dans cette étude.

Fiche de Renseignements

Date (format de la date en anglais):
05-Sep-2007

Commentaire (Ne pas mettre de ;):
Signal bien récupéré, feuille relativement propre

Date et Heure de Pose de la feuille
05-Sep-2007 13:05:00

Valeur notée à la pose ou cumul de pluie sur la feuille (mode pluvio)
-9999

Date et Heure au retrait de la feuille
05-Sep-2007 19:30:00

Valeur notée au retrait
-9999

Décalage en heure
0

Décalage en hauteur
0 0

Numéro de digitalisation
1

Nombre de grille suivant x et y ex:186 125
16 10

Recul pour les points de calage suivant x et y ex: 1 1
1 1

Échelle des carreaux suivant x en heure et suivant y en cm ex: 1 2
1 5

Calage en hauteur fonction Point de calage (0 0) ou hauteur début série ex 1 5 (minutes)
0 0 0

OK Cancel

Figure 13 : Fiche de renseignement

ANNEXE I.3.3.5 : Exportation du Fichier de calage

Ceci met fin à l'étape de calage, il permet d'exporter le « fichier CALAGE » dans le répertoire défini à cette fin.

ANNEXE I.3.3.6 : Exportation du Fichier de calage et sortie

Ce sous-menu permet de sortir et de revenir à la fenêtre principale de NUNIEAU. Ceci met fin à la phase de calage d'un pluviogramme.

NB :

Il faut environ 2 à 3 heures de temps pour caler une année de 30 événements pluvieux

ANNEXE I.3.4 : Numérisation d'une ou plusieurs images

Dans cette partie NUNIEAU traite toutes les actions qui sont faites depuis dans le calage. . NUNIEAU fait les calculs et génère un ensemble de fichiers dont des fichiers nommés « Fichier 5 MN_TXT » ; dans ce fichier nous avons les lames d'eau pour un pas de 5 mn (15 mn, 30 mn et ainsi de suite). Ce fichier est convertible en fichier Excel pour faciliter l'exploitation.

Assurez-vous seulement que le « fichier CALAGE » et l'image (pluviogramme traité) se trouvent dans le même répertoire

Principaux fichiers après numérisation d'un pluviogramme :

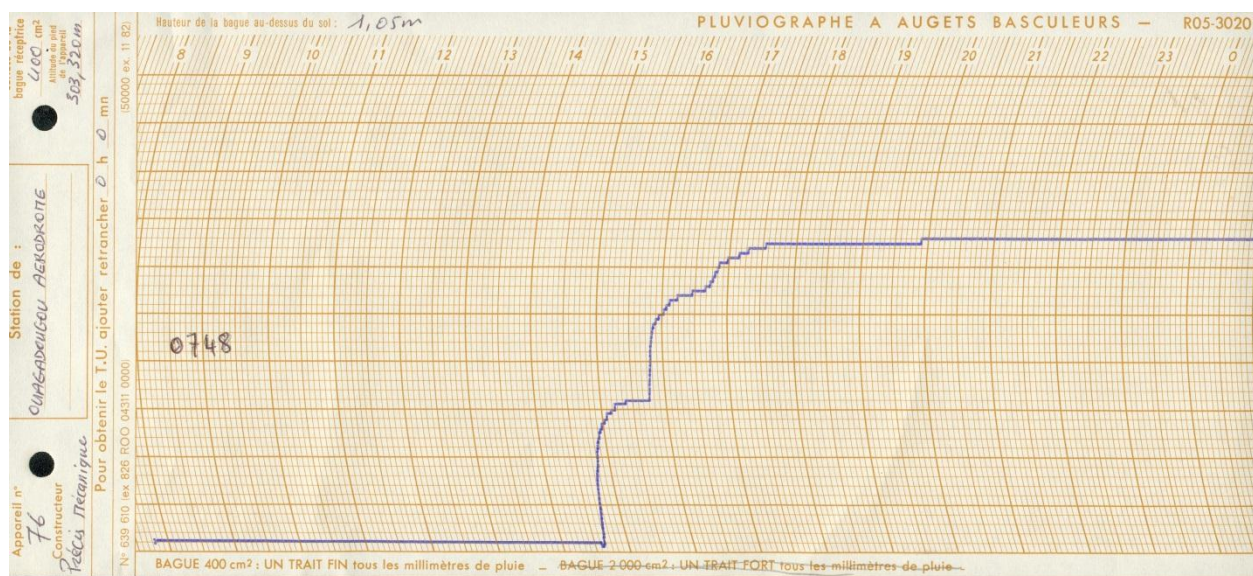


Figure 5 : Pluviogramme (15-06-2011 à Ouagadougou)

Données du pluviogramme (15-06-2011 à Ouagadougou)

Nous avons choisi ce pluviogramme parmi des centaines qui sont traités pour représenter les principaux fichiers après numérisation avec NUNIEAU-pluie à un pas de temps de 5 mn. Si vous regarder de très près, la pluie globale mesurée est de **32.7 mm**. D'autre part pour la hauteur d'eau maximale durant un pas de temps de 5 mn (intensité) il faut un peu plus d'effort pour lire la valeur sur le pluviogramme ; vérifier elle est de **7.9 mm**. Les valeurs trouvées par NUNIEAU sont en couleurs dans le Tableau 10.

Commentaire

Nous laissons à l'appréciation du lecteur les valeurs de lame d'eau tombée (en couleur verte sur le Tableau 10). Concernant l'intensité (en couleur orange sur la fin du Tableau 10). Il faut se rappeler que NUNIEAU dispose d'algorithme qui permet des calculs numériques de précisions. Ainsi le logiciel parcourt toute l'allure de la pluie (signal) et trouve toutes les valeurs possibles d'intensité. La valeur d'intensité est alors de **8,8 mm** (Tableau 10). Une incohérence dans la lecture de l'intensité est aussitôt remarquée. En réalité l'intensité maximale devrait correspondre au maximum de la colonne lame d'eau du même Tableau. En réalité NUNIEAU trouve comme lame d'eau maximale (intensité) **3.6 mm** ce qui est différent du résultat lu manuellement **7.9 mm**.

Cependant une vérification de tous les cas traités nous a permis d'avoir le bon résultat sur NUNIEAU il correspond au cumul de deux lames d'eau c'est là l'incohérence que nous avons

remarqué. Il faut noter qu'avec cette observation tous résultats sont jugés bon par rapport à la lecture manuelle.

Résultats

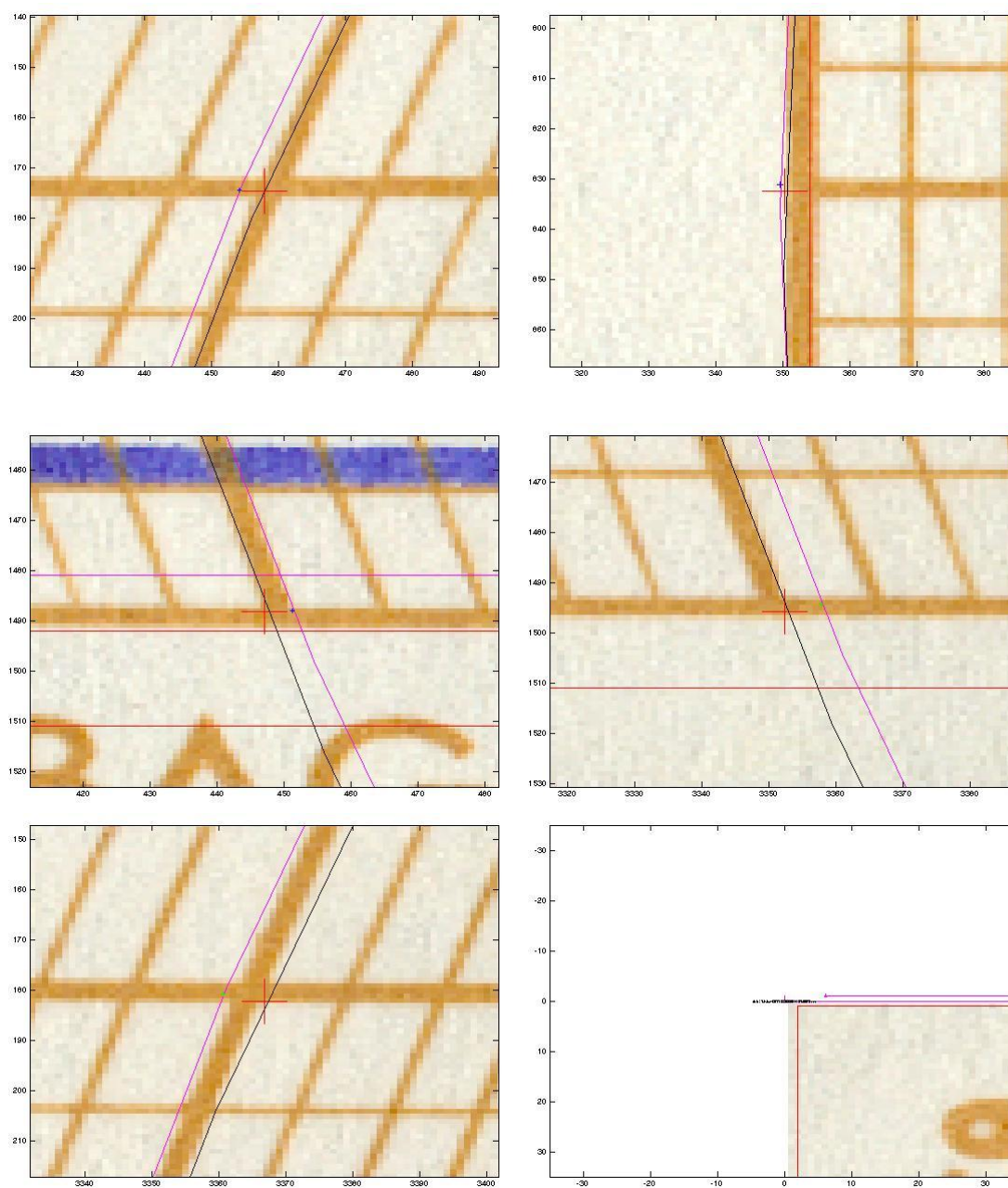


Figure 6 : Les six (06) points de calage

2

² NB : Cet exemple ne correspond pas au meilleur calage possible. L'option zoom est grand pour considérer le petit du croix du centre du carreau (figure 13).

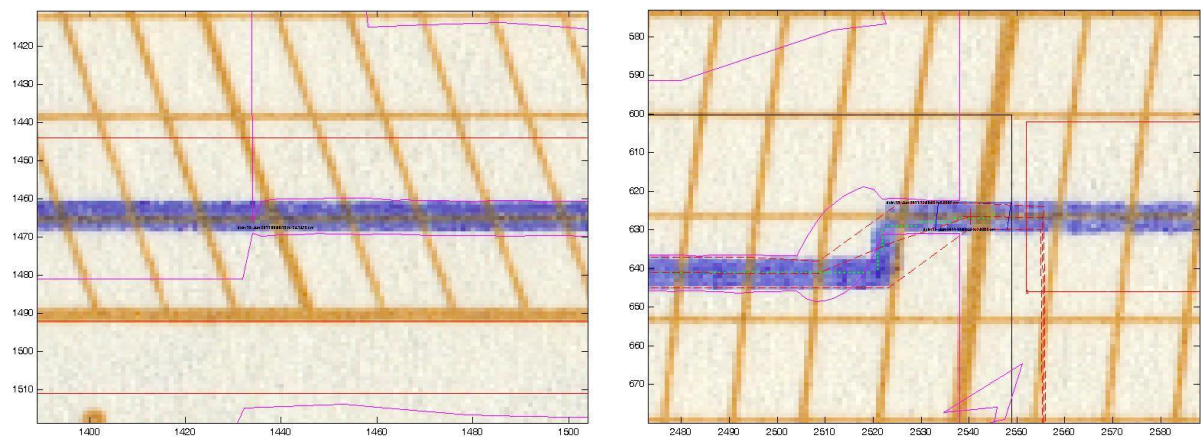


Figure 7 : Images de début du calage et de fin du calage

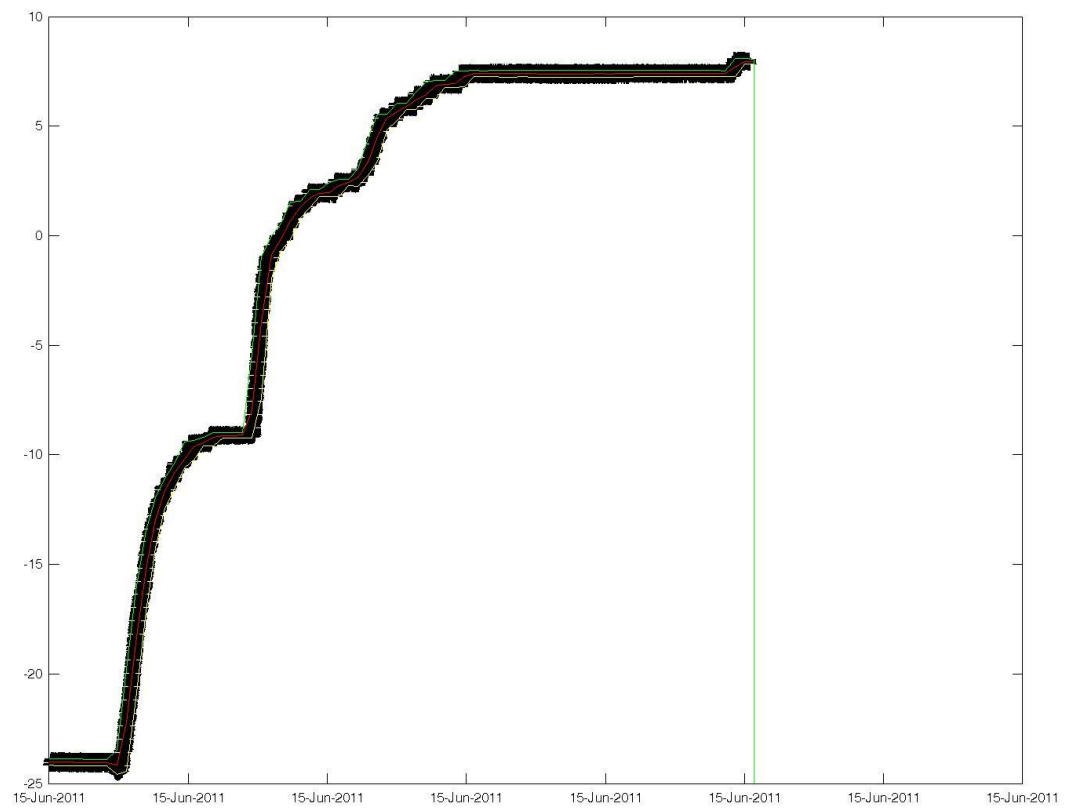


Figure 8 : Fichier résultat après l'étape de numérisation

Tableau 9 : Dépouillement pour un pas de 5 mn

Année	M	ois	Jo	ur	Heu	re Minute	Seconde Mi	nimum Bary	centre Max	imum Mo	yenne	ls Qualite Int	Lame_Eau Vc	Eau_norme	me_norme	
2011	6	15	6	0	0	-24.15	-24.03	-23.88	-24.01	47	5	-24.03	0	0.000	0.000	0.000
2011	6	15	6	5	0	-24.18	-24.02	-23.88	-24.03	133	5	-24.02	0	0.000	0.000	0.000
2011	6	15	6	10	0	-24.18	-24.03	-23.88	-24.03	132	5	-24.03	0	0.000	0.000	0.000
2011	6	15	6	15	0	-24.18	-24.04	-23.88	-24.03	127	5	-24.04	0	0.000	0.000	0.000
2011	6	15	6	20	0	-24.18	-24.05	-23.91	-24.05	129	5	-24.05	0	0.000	0.000	0.000
2011	6	15	6	25	0	-24.18	-24.05	-23.91	-24.05	136	5	-24.05	0	0.000	0.000	0.000
2011	6	15	6	30	0	-24.18	-24.05	-23.91	-24.05	133	5	-24.05	0	0.000	0.000	0.000
2011	6	15	6	35	0	-24.60	-24.16	-23.49	-24.04	255	5	-24.16	0	0.000	0.000	0.000
2011	6	15	6	40	0	-24.44	-22.24	-19.80	-22.12	693	5	-22.24	1.78528104	1.785	1.785	1.785
2011	6	15	6	45	0	-21.17	-18.58	-16.19	-18.68	764	5	-18.58	3.6623406	5.448	3.662	5.448
2011	6	15	6	50	0	-17.14	-15.23	-13.45	-15.29	569	5	-15.23	3.35021157	8.798	3.350	8.798
2011	6	15	6	55	0	-14.24	-12.95	-11.96	-13.10	362	5	-12.95	2.28137576	11.079	2.281	11.079
2011	6	15	7	0	0	-12.42	-11.65	-11.05	-11.73	256	5	-11.65	1.29864798	12.378	1.299	12.378
2011	6	15	7	5	0	-11.50	-10.79	-10.36	-10.93	209	5	-10.78	0.86481757	13.243	0.865	13.243
2011	6	15	7	10	0	-10.59	-10.21	-9.41	-10.00	169	5	-10.21	0.57961451	13.822	0.580	13.822
2011	6	15	7	15	0	-10.24	-9.63	-9.33	-9.79	182	5	-9.63	0.5748855	14.397	0.575	14.397
2011	6	15	7	20	0	-9.60	-9.45	-9.21	-9.41	126	5	-9.45	0.17941947	14.577	0.179	14.577
2011	6	15	7	25	0	-9.60	-9.21	-8.99	-9.29	162	5	-9.21	0.24199126	14.819	0.242	14.819
2011	6	15	7	30	0	-9.25	-9.12	-8.98	-9.12	124	5	-9.12	0.0911871	14.910	0.091	14.910
2011	6	15	7	35	0	-9.25	-9.11	-8.98	-9.12	118	5	-9.11	0.00348595	14.913	0.003	14.913
2011	6	15	7	40	0	-9.25	-9.11	-8.98	-9.12	113	5	-9.11	0.00483335	14.918	0.005	14.918
2011	6	15	7	45	0	-9.25	-7.94	-5.36	-7.31	463	5	-7.93	1.17464238	16.093	1.175	16.093
2011	6	15	7	50	0	-7.42	-3.93	-0.95	-4.18	890	5	-3.93	4.00333879	20.096	4.003	20.096
2011	6	15	7	55	0	-1.94	-0.88	0.00	-0.97	255	5	-0.88	3.05413849	23.150	3.054	23.150
2011	6	15	8	0	0	-0.68	-0.13	0.58	-0.05	180	5	-0.13	0.74686547	23.897	0.747	23.897
2011	6	15	8	5	0	-0.19	0.67	1.53	0.67	244	5	0.67	0.80461578	24.702	0.805	24.702
2011	6	15	8	10	0	0.81	1.33	1.57	1.19	172	5	1.33	0.6592874	25.361	0.659	25.361
2011	6	15	8	15	0	1.30	1.72	2.10	1.70	162	5	1.72	0.38493743	25.746	0.385	25.746
2011	6	15	8	20	0	1.80	1.95	2.10	1.95	117	5	1.95	0.22888101	25.975	0.229	25.975
2011	6	15	8	25	0	1.80	1.97	2.45	2.12	127	5	1.97	0.02223536	25.997	0.022	25.997
2011	6	15	8	30	0	1.80	2.28	2.56	2.18	184	5	2.28	0.30973115	26.307	0.310	26.307
2011	6	15	8	35	0	2.30	2.42	2.56	2.43	118	5	2.42	0.1382693	26.445	0.138	26.445
2011	6	15	8	40	0	2.26	2.65	3.02	2.64	172	5	2.65	0.23391643	26.679	0.234	26.679
2011	6	15	8	45	0	2.76	3.35	4.43	3.59	265	5	3.35	0.69529115	27.374	0.695	27.374
2011	6	15	8	50	0	3.40	4.54	5.54	4.47	318	5	4.54	1.19280354	28.567	1.193	28.567
2011	6	15	8	55	0	4.81	5.36	5.54	5.18	130	5	5.36	0.81975435	29.387	0.820	29.387
2011	6	15	9	0	0	5.27	5.67	6.03	5.65	185	5	5.66	0.30550304	29.692	0.306	29.692
2011	6	15	9	5	0	5.77	5.91	6.04	5.90	125	5	5.91	0.2420477	29.934	0.242	29.934
2011	6	15	9	10	0	5.77	6.17	6.53	6.15	203	5	6.17	0.2646319	30.199	0.265	30.199
2011	6	15	9	15	0	6.27	6.45	7.03	6.65	151	5	6.45	0.27737025	30.476	0.277	30.476
2011	6	15	9	20	0	6.27	6.83	7.07	6.67	157	5	6.83	0.37859352	30.855	0.379	30.855
2011	6	15	9	25	0	6.76	6.92	7.07	6.92	125	5	6.92	0.09364429	30.949	0.094	30.949
2011	6	15	9	30	0	6.76	6.95	7.53	7.15	132	5	6.94	0.02351847	30.972	0.024	30.972

Année	M	ois	Jo	ur	Heu	re Minute	Seconde Mi	nimum Bary	centre Max	imum Mo	yenne	ls Qualite Int	Lame_Eau V	Eau_norme	me_norme	
2011	6	15	9	30	0	6.76	6.95	7.53	7.15	132	5	6.94	0.02351847	30.972	0.024	30.972
2011	6	15	9	35	0	6.80	7.28	7.53	7.17	174	5	7.28	0.33462184	31.307	0.335	31.307
2011	6	15	9	40	0	7.26	7.40	7.57	7.41	130	5	7.40	0.09866156	31.405	0.099	31.405
2011	6	15	9	45	0	7.26	7.40	7.53	7.40	128	5	7.40	0	31.405	0.000	31.405
2011	6	15	9	50	0	7.26	7.40	7.53	7.40	124	5	7.40	0	31.405	0.000	31.405
2011	6	15	9	55	0	7.23	7.39	7.53	7.38	129	5	7.39	0	31.405	0.000	31.405
2011	6	15	10	0	0	7.23	7.39	7.53	7.38	122	5	7.39	0	31.405	0.000	31.405
2011	6	15	10	5	0	7.27	7.40	7.54	7.40	125	5	7.40	0	31.405	0.000	31.405
2011	6	15	10	10	0	7.23	7.39	7.54	7.38	126	5	7.39	0	31.405	0.000	31.405
2011	6	15	10	15	0	7.23	7.38	7.54	7.39	123	5	7.38	0	31.405	0.000	31.405
2011	6	15	10	20	0	7.23	7.38	7.54	7.39	128	5	7.38	0.00302017	31.408	0.003	31.408
2011	6	15	10	25	0	7.24	7.38	7.54	7.39	128	5	7.38	4.8874E-05	31.408	0.000	31.408
2011	6	15	10	30	0	7.24	7.38	7.54	7.39	133	5	7.38	0.00179946	31.410	0.002	31.410
2011	6	15	10	35	0	7.24	7.39	7.54	7.39	132	5	7.39	0.0009654	31.411	0.001	31.411
2011	6	15	10	40	0	7.24	7.39	7.54	7.39	130	5	7.39	0	31.411	0.000	31.411
2011	6	15	10	45	0	7.24	7.40	7.55	7.39	133	5	7.40	0	31.411	0.000	31.411
2011	6	15	10	50	0	7.24	7.38	7.55	7.39	132	5	7.38	0	31.411	0.000	31.411
2011	6	15	10	55	0	7.24	7.39	7.55	7.40	129	5	7.39	0.0072203	31.418	0.007	31.418
2011	6	15	11	0	0	7.24	7.40	7.55	7.40	118	5	7.40	0	31.418	0.000	31.418
2011	6	15	11	5	0	7.25	7.41	7.55	7.40	126	5	7.40	0	31.418	0.000	31.418
2011	6	15	11	10	0	7.25	7.40	7.55	7.40	118	5	7.40	0	31.418	0.000	31.418
2011	6	15	11	15	0	7.25	7.40	7.55	7.40	126	5	7.40	0	31.418	0.000	31.418
2011	6	15	11	20	0	7.25	7.39	7.55	7.40	132	5	7.39	0	31.418	0.000	31.418
2011	6	15	11	25	0	7.25	7.39	7.56	7.40	129	5	7.39	0.00249757	31.421	0.002	31.421
2011	6	15	11	30	0	7.25	7.40	7.56	7.40	117	5	7.40	0.00464427	31.426	0.005	31.426
2011	6	15	11	35	0	7.25	7.41	7.56	7.41	129	5	7.40	0	31.426	0.000	31.426
2011	6	15	11	40	0	7.25	7.40	7.56	7.41	124	5	7.40	0	31.426	0.000	31.426
2011	6	15	11	45	0	7.26	7.40	7.56	7.41	131	5	7.40	0	31.426	0.000	31.426
2011	6	15	11	50	0	7.26	7.40	7.52	7.39	127	5	7.40	0	31.426	0.000	31.426
2011	6	15	11	55	0	7.26	7.71	8.10	7.68	202	5	7.71	0.30899522	31.735	0.309	31.735
2011	6	15	12	0	0	7.83	7.96	8.10	7.96	119	5	7.96	0.25059695	31.985	0.251	31.985
2011	6	15	12	5	0	7.83	7.96	8.06	7.95	6	5	7.96	0	31.985	0.000	31.985

ANNEXE I.4 : Conclusion

Voici alors en quelques lignes quelques éléments pour l'utilisation de NUNIEAU sur un cas simple.

C'est un logiciel bien fourni avec des modules et des possibilités innovantes et nombreuses. NUNIEAU offre alors à différents utilisateurs et dans divers domaines un outil de traitement avancé tels que le suivi des niveaux des cours d'eau en rivière ou mer. Il donnera sans aucun doute aux hydrologues et aux services météorologiques nationaux le courage de traiter les tonnes d'information dans leurs archives qui si rien n'était fait risqueraient de se perdre. Il serait prétentieux de ma part de vouloir « maîtriser NUNIEAU-pluie » en si peu de temps, c'est juste un partage d'idées et de procédés qui nous enrichiront tous. Certes dans l'utilisation de NUNIEAU-pluie une mauvaise manipulation entraîne des messages d'erreur que nous n'avons pas abordés supposant qu'avec cette procédure on aura utilisé le logiciel sans difficultés.