

## **VULNÉRABILITÉ DES CULTURES FACE AUX PHÉNOMÈNES HYDROCLIMATIQUES DANS LE BASSIN DU MONO AU BÉNIN**

**Romaric OGOUWALE**

*Laboratoire Pierre Pagney, Climat, Eau, Ecosystème et Développement  
(LACEEDE) 03 BP 1122  
Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT),  
Université d'Abomey-Calavi, Bénin*

(reçu le 25 Mars 2021 ; accepté le 06 Mai 2021)

---

\* Correspondance, e-mail : [ogou25@yahoo.fr](mailto:ogou25@yahoo.fr)

### **RÉSUMÉ**

L'objectif de ce travail est d'étudier la vulnérabilité des cultures face aux phénomènes hydroclimatiques dans le bassin du Mono au Bénin. La démarche méthodologique s'est articulée autour de la collecte de donnée (recherche documentaire et travaux de terrain), du traitement de données, de l'analyse et de l'interprétation des résultats. Les précipitations journalières et les débits journaliers du fleuve Mono ont été collectés respectivement à l'ASECNA et à la Direction Générale de l'Eau (DG-Eau) du Bénin. Les changements climatiques observés au cours des quarante dernières années en Afrique de l'Ouest, notamment dans le golfe de Guinée induisent des impacts inévitables sur les écoulements de surface importants dans le bassin du Mono. Selon les données de sortie du modèle statistique, les productions agricoles décroissent déjà et le maïs se révèle comme la culture la plus vulnérable. En effet, une augmentation des pluies maximales de 1 % et une variation plus ou moins importante des autres paramètres climatiques (température, évaporation, émission de CO<sub>2</sub>, etc.) entraînent une réduction de la production de maïs de 8,2 %, de la patate douce de 7,12 %, du piment 8,2 % et du manioc de 5,2 %. Les pertes agricoles varient entre 330 000 et 430 000 tonnes par an toutes cultures confondues dans le bassin. De même, les déficits hydriques intervenant au cœur des périodes critiques de croissance des cultures que ce soit celles pluviales ou de contre saison constituent un facteur supplémentaire de vulnérabilité agricole du bassin.

**Mots-clés :** *Bénin, bassin du Mono, vulnérabilité des cultures, dynamique hydroclimatique.*

**Romaric OGOUWALE**

**ABSTRACT**

**The objective of this work is to study the vulnerability of crops to hydroclimatic phenomena in the Mono basin in Bénin**

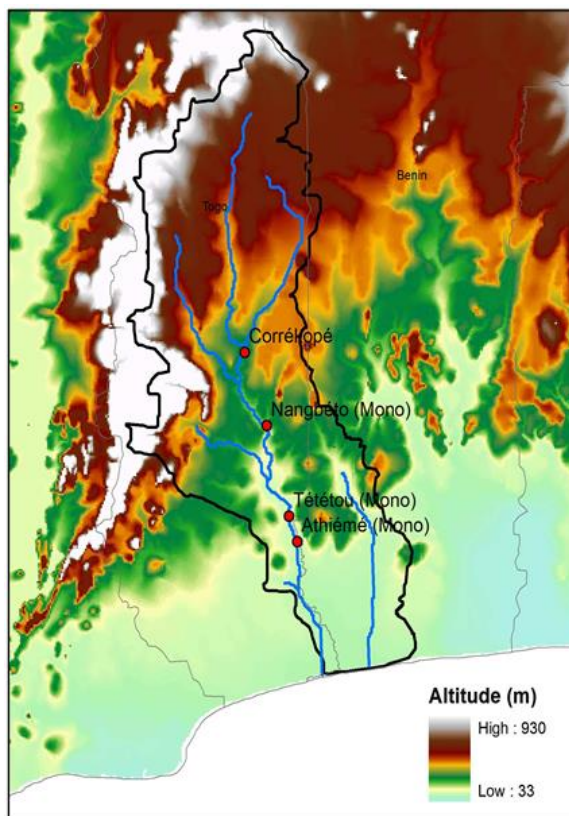
The methodological approach revolved around data collection (documentary research and fieldwork), data processing, analysis and interpretation of results. Daily precipitation and daily flows of the Mono River were collected respectively at ASECNA and at the General administration of water (DG-Eau) of Bénin. The climatic changes observed over the past forty years in West Africa, particularly in the Gulf of Guinea, have inevitable impacts on significant surface flows in the Mono basin. According to the output data of the statistical model, agricultural production is already decreasing and maize appears to be the most vulnerable crop. Indeed, an increase in maximum rainfall of 1% and a more or less significant variation in other climatic parameters (temperature, evaporation, CO<sub>2</sub> emission, etc.) lead to a reduction in maize production by 8.2 %, sweet potato 7.12 %, chilli 8.2 % and cassava 5.2 %. Agricultural losses vary between 330,000 and 430,000 tonnes per year, all crops combined in the basin. Likewise, the water deficits occurring at the heart of critical periods of crop growth, whether rained or off-season, constitute an additional factor of agricultural vulnerability in the basin.

**Keywords :** *Bénin, Mono basin, crop vulnerability, hydroclimatic dynamics.*

**I - INTRODUCTION**

A l'échelle mondiale, les changements climatiques constituent une menace majeure pour l'environnement et le développement durable [1]. La communauté internationale reconnaît que les concentrations accrues de gaz à effet de serre dans l'atmosphère imposent au climat des changements importants incluant un réchauffement d'origine naturelle et anthropique [2]. Ces changements du climat entravent le bien-être socio-économique des populations [3]. En Afrique de l'Ouest, les changements climatiques se caractérisent par des extrêmes climatiques, qui se manifestent par des sécheresses se traduisant souvent par des étiages graves dans les bassins versants, soit par des averses génératrices de crues puissantes [4 - 6]. Les ressources en eau sont de ce fait menacées [7]. Selon [8], les changements climatiques impactent la vie humaine sur divers plans : ils influencent la santé humaine [9], les activités agricoles [10]. Cette modification sur le régime hydrologique a été très importante : les écoulements ont connu des baisses de l'ordre de plus de 50 % par endroit en Afrique de l'ouest [11]. Or, les bassins versants constituent les lieux par excellence de la production

agricole dans les pays de l'Afrique de l'Ouest en raison des potentialités hydriques qu'ils offrent [12]. Cette modification de régime hydrologique est aussi à la base de phénomènes extrêmes dont les inondations [13, 14]. Au Bénin, les enjeux des changements climatiques sont multiples et engendrent des dommages qui affectent parfois de façon irréversible les conditions de vie des populations en les obligeant des fois à abandonner leurs biens pour devenir des sinistrés climatiques [15]. Dans le bassin du Mono, les pluies extrêmes entraînent des crues du fleuve suivies des inondations des champs installés dans les bas de pente et dans la plaine d'inondation [16]. Les pertes de productions agricoles liées aux inondations dans les bassins varient entre 35 et 40 % d'une année à l'autre [17]. Aussi, en période de déficit, la faiblesse de la disponibilité hydrique constitue un risque pour le développement des cultures. Face à ces impacts des changements climatiques, les populations développent des stratégies qui, avec le temps, montrent leurs limites [18]. Et si rien n'est fait les projections font état d'impacts plus drastiques sur le bien être des humains [19, 20]. Le bassin versant du Mono situé dans la région du golfe de Guinée, est partagé entre le Bénin et le Togo dont les parties hautes et moyennes du bassin sont en grande partie sur le territoire togolais [16]. D'une superficie de 27 870 km<sup>2</sup>, il s'étend sur 560 km du Nord au Sud et plus précisément entre 06°16' et 09°20'N et 0°42' et 2°25'E. La localisation géographique du bassin du Mono est présentée à la **Figure 1**.



**Figure 1 :** Localisation géographique du bassin du Mono  
Source : [14]

## II - DONNÉES, MATÉRIEL ET MÉTHODES UTILISÉES

### II-1. Données utilisées

Les données utilisées dans le cadre de cette recherche sont autres :

- ✓ les précipitations journalières de 1971 à 2019 d'un réseau de trente stations réparties dans le bassin et à proximité, provenant de la base de données de l'ASECNA de Cotonou (Bénin) ;
- ✓ les données de débits journaliers de 1971 à 2019 du Mono à Athiémé proviennent de la Direction Générale de l'Eau (DG\_Eau) du Bénin ;
- ✓ les données agricoles, relatives à la production et au rendement des campagnes agricoles des principales cultures du bassin sur la période 1980-2019, tirées des compendia statistiques du Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche (MAEP) et collectées sur le terrain.

## II-2. Matériels utilisés

Un GPS a été utilisé pour le géoréférencement, un enregistreur pour enregistrer les entretiens avec l'accord des personnes interviewées et appareil photo numérique pour la prise de vues.

## II-3. Méthodes de traitement et d'analyse

### II-3-1. Évaluation de la vulnérabilité agricole

La vulnérabilité agricole aux extrêmes hydroclimatiques a été évaluée à travers l'analyse de l'évolution de la production de certaines cultures et grâce aux investigations en milieu réel. Les observations directes de terrain ont permis d'identifier et d'évaluer les impacts des pluies extrêmes, des inondations et déficit en eau sur la production agricole. Le choix des cultures repose sur leurs importances dans la production agricole et dans les habitudes alimentaires des populations du bassin. Les différentes cultures choisies ainsi que leurs caractéristiques physiologiques sont présentées dans le **Tableau 1**.

**Tableau 1 :** Caractéristiques physiologiques optimales des cultures choisies

|                     | Manioc         | Niébé          | Tomate         | Maïs           | Patate douce   | Piment         | Riz            |
|---------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| DuSC <sub>max</sub> | 330            | 120            | 120            | 120            | 270            | 120            | 150            |
| DuSC <sub>min</sub> | 180            | 90             | 90             | 90             | 170            | 90             | 120            |
| LAI                 | 1-4            | 1-4            | 1-4            | 1-4            | 0,5-3,5        | 1-4            | 1-4            |
| IR                  | 0,55           | 0,3            | 0,35           | 0,45           | 0,52           | 0,3            | 0,30           |
| Kc                  | 0,1 - 1        | 0,3-1,2        | 0,4-1,2        | 0,3-1,2        | 1-2            | 0,3-1,5        | 1,1-1,3        |
| Photorespiration    | C <sub>3</sub> | C <sub>3</sub> | C <sub>3</sub> | C <sub>4</sub> | C <sub>3</sub> | C <sub>3</sub> | C <sub>3</sub> |
| Groupe              | 2              | 2              | 2              | 3              | 2              | 2              | 2              |
| Ky                  | 1,1            | 1,15           | 1,05           | 1,25           | 1,1            | 1,15           | 1,5            |
| PMS/PT              | 0,35           | 0,85           | 0,32           | 0,85           | 0,42           | 0,3            | 0,85           |
| PT (en °C)          | 25-29          | 15-20          | 18-25          | 24-30          | 20-30          | 18-25          | 22-30          |
| ZG (en °C)          | 35             | -              | 12             | -              | 30             | -              | 13             |
| ETM (en mm)         | 1000-1500      | 300-500        | 400-600        | 500-800        | 600            | 400-600        | 450-700        |
| Photopériodisme     | N              | N              | N              | JC             | N              | Var            | N              |
| Famille             | Racine         | L              | NL             | NL             | NL             | NL             | NL             |
| DS                  | 10000          | 175000         | 25000          | 60000          | 30000          | 40000          | 1700000        |

Source : [13]

DuSC<sub>max</sub> : Durée maximale de la saison de croissance (cycle variétal long en nombre de jours)

DuSC<sub>min</sub> : Durée minimale de la saison de croissance (cycle variétal court en nombre de jours)

LAI : Indice de surface foliaire (montaison à la phase de pleine croissance, juste avant la floraison)

IR : Indice de récolte (pourcentage de la biomasse totale produite)

Kc : Coefficient cultural

Groupe : Groupe d'adaptabilité

Ky : Indice de réponse au déficit hydrique

PMS/PT : Pourcentage de matière sèche par rapport au poids total

PT : Préferendum thermique en degré celcius

ZG : Zéro de germination (température du sol pour les racines et tubercules)

ETM : Besoin maximal en mm d'eau pendant toute la durée de la saison de croissance

Photopériodisme : N = neutre ; JC = jours courts ; Var = variable notamment JC pendant la floraison

Famille : L = Légumineuse, NL = Non légumineuse

DS : Densité de semis en plants/ha

### ***II-3-2. Détermination des indicateurs de vulnérabilité agricole***

#### ***➤ Disponibilité en eau/besoin en eau***

La variation de la disponibilité en eau par rapport au besoin en eau de chaque culture au cours des différentes phases phénologiques de leur croissance a été analysée. Les besoins en eau de la plante sont liés aux conditions agroclimatiques et au coefficient cultural qui varie également au cours du cycle végétatif généralement découpé en plusieurs phases. A cette fin, la méthode de détermination de la disponibilité en eau adoptée par [21] a été utilisée.

#### ***➤ Indice d'humidité (IH)***

L'indice d'humidité (IH) mesure le rapport des précipitations (P) à l'évapotranspiration potentielle (ETP) sur une période déterminée. Son expression mathématique est :  $IH = [(P/ETP)*100$ . Cet indice évalue l'efficacité des précipitations par rapport à la demande climatique. Plus les valeurs sont faibles, plus les périodes sont sèches et moins les cultures se trouvent dans de conditions favorables.

#### ***➤ Bilan hydrique (Bh)***

L'approche de détermination du bilan de l'eau utilisée dans cette recherche s'inspire de [12 et 19] et est basée sur le principe selon lequel, en matière d'agriculture, les paramètres à considérer pour le calcul du bilan de l'eau sont les apports constitués essentiellement des pluies et de la rosée et les pertes représentées par la demande atmosphérique et le sol. La méthode de détermination du bilan général de l'eau est présentée à la figure 2.

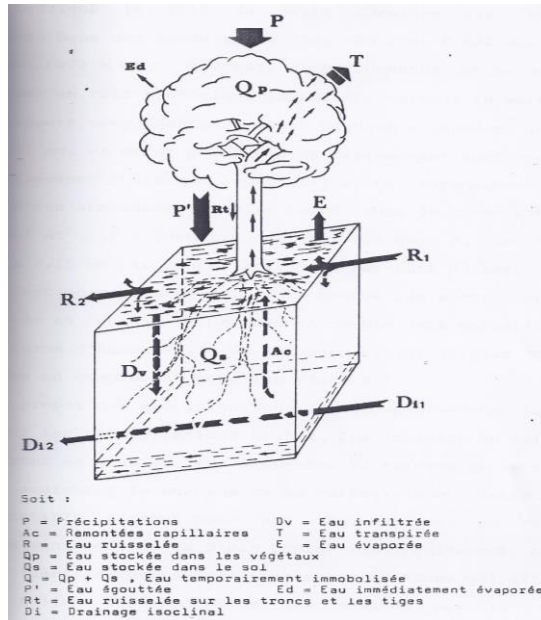


Figure 2 : Bilan général de l'eau

Source : [20]

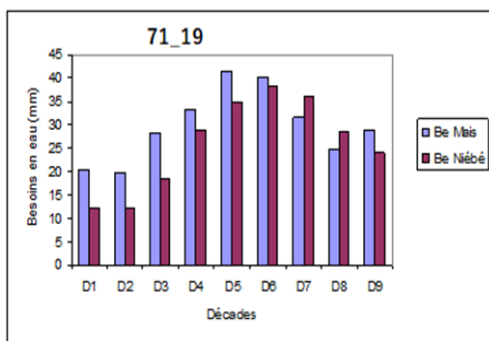
Dans le bilan hydrique, le rôle de la rosée dans les apports est important car elle peut jouer un rôle biologique important, surtout en saison sèche, par un apport complémentaire d'eau pouvant atteindre annuellement 100 à 200 mm. En effet, par suite du rayonnement nocturne du sol, le refroidissement thermique consécutif à ce rayonnement porte la vapeur d'eau atmosphérique à sa température de condensation (point de rosée) et il y a formation de la rosée estimée à 0,15 mm par heure, soit 2 mm par nuit entière. Mais, la rosée est un paramètre qui ne se mesure pas encore au Bénin et dans le bassin du Mono ; ce qui n'a pas permis son utilisation dans le bilan. Il en est de même des autres éléments climatiques favorables aux cultures qui n'ont pas pu être pris en compte en raison de leur non-évaluation. Il s'agit du brouillard et la brume matinaux qui se succèdent tout au long de l'année dans le secteur d'étude et constituent aussi une source d'humidité pour les principales cultures.

### III - RÉSULTATS ET DISCUSSION

#### III-1. Vulnérabilité des cultures aux dynamiques hydroclimatiques

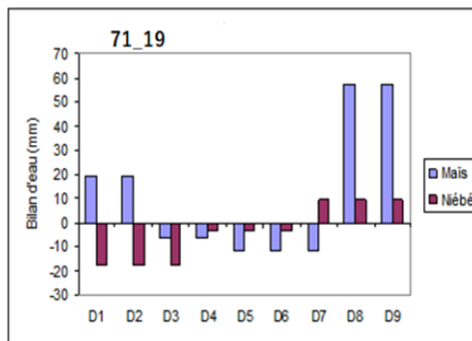
La vulnérabilité agricole aux dynamiques hydroclimatiques ont été appréciées sur le maïs, la patate douce, la tomate, le piment, le riz, le manioc et le niébé et indique qu'elle dépend de la phase de leur cycle de croissance à

laquelle se manifestent les contraintes. Ainsi, que ce soit les cultures pluviales et de contre saison, le premier facteur de vulnérabilité est le calendrier agricole dont l'efficacité dépend du caractère excédentaire ou déficitaire des pluies. La variation des besoins en eau et les bilans d'eau du maïs et du niébé sur la période 1971-2019 sont présentés aux **Figures 3 et 4**.



**Figure 3 :** Besoin en eau du maïs et du niébé

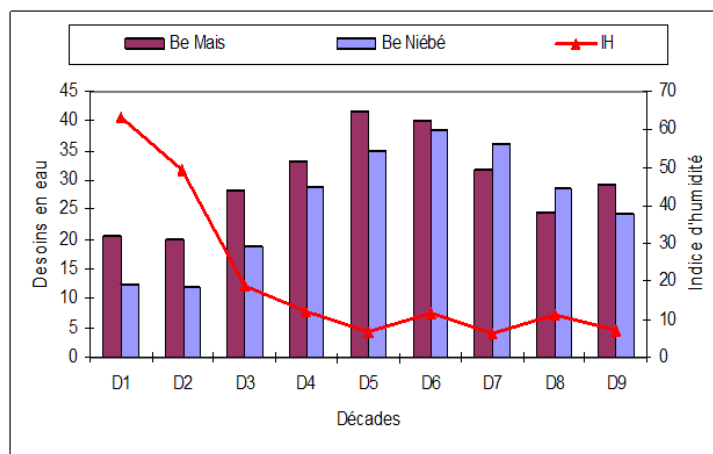
Source : Traitements statistiques



**Figure 4 :** Bilan d'eau au niveau du maïs et du niébé

Source : Traitements statistiques

L'analyse des figures montre que les besoins en eau restent le plus souvent élevés à la floraison et l'épiaison alors que la disponibilité en eau dans le bassin est déficitaire au cours des périodes de phases végétatives. Ce qui diminue la valeur de l'indice d'humidité au cours de ces phases. La variation du bilan d'eau au niveau des cultures et indice d'humidité sont présentés à la **Figure 5**.

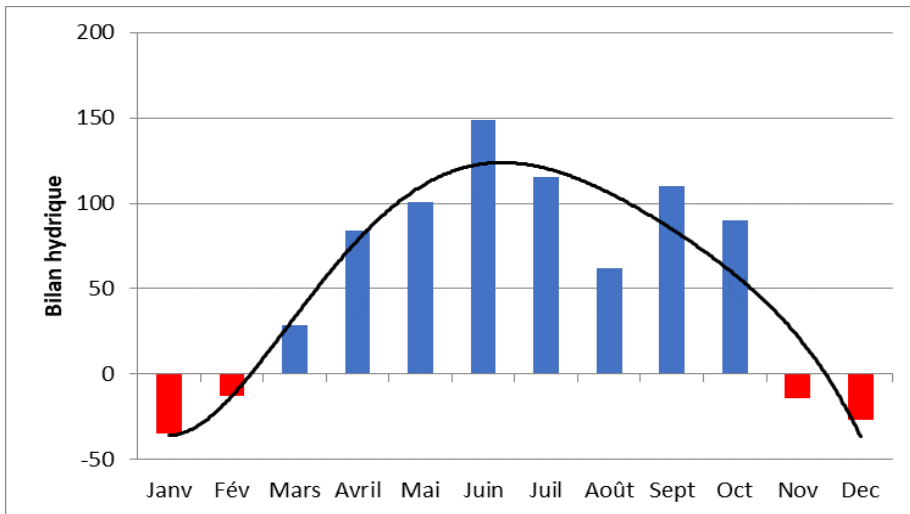


**Figure 5 :** Variation du bilan d'eau au niveau des cultures et indice d'humidité

Source : Traitements statistiques



L'indice d'humidité est proche de zéro (0) dans les phases critiques de croissance du maïs et du niébé (floraison et l'épiaison). Ce qui signifie que le climat du bassin devient plus aride au cours de ces phases de croissance critique donc préjudiciable aux cultures. Cette situation est confirmée par la variation du bilan hydrique dans le bassin. Le bilan hydrique mensuel dans le bassin du Mono est illustré par **Figure 6**.



**Figure 6 :** *Bilan hydrique mensuel dans le bassin*

Le bilan hydrique dans le bassin est déficitaire au cours des mois de novembre, décembre, janvier et février correspondant à la période de grande sécheresse. Cette période est celle où se déroule la production de contre saison dans le bassin. En période décrue, étant donné qu'on est en présence de sols hydromorphes, les cultures en présence bénéficient des réserves d'eau du sol pour finir leur cycle végétatif. A l'échelle annuelle, le bilan hydrique apprécié sur l'existence d'écoulement au terme de la différence entre l'apport climatique (pluie), la demande climatique (ETR) et la réserve utile (RU) du sol, a permis d'identifier les périodes favorables et défavorables aux cultures en année humide, moyenne et déficitaire. Les bilans hydriques de 2010, de 1983 et de 1995 sont présentés aux **Tableaux 2, 3 et 4**.

**Tableau 2 : Bilan hydrique en année excédentaire (2010)**

|            | Janv |    |    | Fevr |    |    | Mars |    |    | Avril |    |    | Mai |    |     | Juin |     |    | Juil |    |    | Août |    |    | Sept |    |    | Oct |    |     | Nov |    |    | Dec |    |    |
|------------|------|----|----|------|----|----|------|----|----|-------|----|----|-----|----|-----|------|-----|----|------|----|----|------|----|----|------|----|----|-----|----|-----|-----|----|----|-----|----|----|
|            | D1   | D2 | D3 | D1   | D2 | D3 | D1   | D2 | D3 | D1    | D2 | D3 | D1  | D2 | D3  | D1   | D2  | D3 | D1   | D2 | D3 | D1   | D2 | D3 | D1   | D2 | D3 | D1  | D2 | D3  | D1  | D2 | D3 | D1  | D2 | D3 |
| Bohicon    | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 16 | 0    | 0  | 52 | 7     | 0  | 0  | 1   | 0  | 4   | 9    | 196 | 32 | 63   | 90 | 25 | 0    | 0  | 0  | 37   | 0  | 36 | 8   | 51 | 152 | 0   | 45 | 0  | 0   | 0  | 0  |
| Abomey     | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 25 | 0     | 0  | 2  | 32  | 0  | 61  | 0    | 42  | 26 | 7    | 56 | 29 | 10   | 62 | 54 | 66   | 39 | 69 | 0   | 5  | 2   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  |
| Niouli     | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 27 | 0    | 0  | 64 | 0     | 0  | 0  | 0   | 18 | 7   | 34   | 214 | 43 | 5    | 84 | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 3  | 41  | 57 | 109 | 7   | 28 | 0  | 0   | 0  | 0  |
| Allada     | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0     | 0  | 0  | 6,6 | 0  | 0   | 0    | 24  | 3  | 34   | 32 | 81 | 0    | 74 | 63 | 53   | 2  | 17 | 0   | 0  | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  |
| Bopa       | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0     | 20 | 0  | 0   | 0  | 0   | 43   | 9   | 44 | 24   | 21 | 9  | 3    | 57 | 43 | 12   | 49 | 28 | 0   | 0  | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  |
| Dogbo Tota | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 15 | 8    | 0  | 25 | 60    | 0  | 0  | 20  | 57 | 69  | 0    | 74  | 85 | 42   | 12 | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 23 | 7  | 33  | 0  | 89  | 3   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  |
| Lonkly     | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 6  | 24   | 7  | 25 | 0     | 0  | 0  | 41  | 7  | 0   | 0    | 97  | 69 | 5    | 58 | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 60 | 101 | 14 | 92  | 18  | 30 | 0  | 0   | 0  | 0  |
| Toffo      | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 27 | 0    | 4  | 28 | 0     | 48 | 0  | 35  | 14 | 46  | 0    | 114 | 45 | 26   | 39 | 0  | 0    | 0  | 0  | 5    | 63 | 33 | 101 | 0  | 67  | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  |
| Athiémé    | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 93 | 0    | 0  | 0  | 41    | 10 | 0  | 0   | 0  | 131 | 0    | 108 | 8  | 43   | 83 | 0  | 0    | 0  | 0  | 17   | 0  | 37 | 88  | 50 | 105 | 0   | 29 | 0  | 0   | 0  | 0  |

**Tableau 3 : Bilan hydrique en année déficitaire (1983)**

|            | Janv |    |    | Fevr |    |    | Mars |    |    | Avril |    |    | Mai |    |    | Juin |     |    | Juil |    |    | Août |    |    | Sept |    |    | Oct |    |    | Nov |    |    | Dec |    |    |   |
|------------|------|----|----|------|----|----|------|----|----|-------|----|----|-----|----|----|------|-----|----|------|----|----|------|----|----|------|----|----|-----|----|----|-----|----|----|-----|----|----|---|
|            | D1   | D2 | D3 | D1   | D2 | D3 | D1   | D2 | D3 | D1    | D2 | D3 | D1  | D2 | D3 | D1   | D2  | D3 | D1   | D2 | D3 | D1   | D2 | D3 | D1   | D2 | D3 | D1  | D2 | D3 | D1  | D2 | D3 | D1  | D2 | D3 |   |
| Bohicon    | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0     | 0  | 0  | 42  | 59 | 0  | 21   | 6   | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 22   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  |    |   |
| Abomey     | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 87    | 0  | 0  | 0   | 0  | 83 | 0    | 62  | 0  | 0    | 23 | 0  | 0    | 0  | 0  | 18   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  |   |
| Niouli     | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0     | 0  | 0  | 83  | 0  | 9  | 22   | 108 | 27 | 0    | 24 | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 12 | 24 | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  |   |
| Allada     | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 9     | 0  | 0  | 0   | 18 | 0  | 0    | 76  | 0  | 0    | 17 | 0  | 0    | 0  | 0  | 1    | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  |   |
| Bopa       | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 23    | 0  | 0  | 10  | 8  | 19 | 54   | 227 | 10 | 0    | 15 | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 4  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0 |
| Dogbo Tota | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 4     | 0  | 0  | 26  | 0  | 25 | 68   | 51  | 12 | 0    | 55 | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 19 | 15 | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  |   |
| Lonkly     | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0     | 0  | 0  | 53  | 13 | 42 | 1    | 123 | 43 | 0    | 15 | 0  | 0    | 0  | 0  | 1    | 2  | 11 | 0   | 10 | 0  | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  |   |
| Toffo      | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0     | 0  | 0  | 4   | 11 | 0  | 90   | 0   | 0  | 0    | 23 | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  |   |
| Athiémé    | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0     | 0  | 22 | 12  | 7  | 0  | 47   | 27  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 30 | 0  | 0    | 0  | 18 | 33  | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  |   |

**Tableau 4 : Bilan hydrique en année moyenne (1995)**

|         | Janv |    |    | Fevr |    |    | Mars |     |    | Avril |     |    | Mai |    |    | Juin |     |    | Juil |    |    | Août |    |    | Sept |    |    | Oct |    |    | Nov |    |    | Dec |    |    |
|---------|------|----|----|------|----|----|------|-----|----|-------|-----|----|-----|----|----|------|-----|----|------|----|----|------|----|----|------|----|----|-----|----|----|-----|----|----|-----|----|----|
|         | D1   | D2 | D3 | D1   | D2 | D3 | D1   | D2  | D3 | D1    | D2  | D3 | D1  | D2 | D3 | D1   | D2  | D3 | D1   | D2 | D3 | D1   | D2 | D3 | D1   | D2 | D3 | D1  | D2 | D3 | D1  | D2 | D3 | D1  | D2 | D3 |
| Bohicon | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 23   | 0   | 0  | 22    | 21  | 50 | 2   | 0  | 32 | 24   | 13  | 0  | 0    | 53 | 0  | 45   | 65 | 77 | 0    | 49 | 30 | 0   | 0  | 35 | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  |
| Abomey  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 24   | 0   | 0  | 0     | 9   | 61 | 0   | 0  | 78 | 32   | 59  | 0  | 64   | 0  | 20 | 0    | 0  | 8  | 0    | 0  | 0  | 0   | 0  | 81 | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  |
| Niouli  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0   | 0  | 0     | 0   | 47 | 20  | 0  | 0  | 46   | 67  | 47 | 51   | 0  | 14 | 20   | 31 | 15 | 0    | 9  | 0  | 0   | 0  | 45 | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  |
| Allada  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 41   | 168 | 0  | 0     | 0   | 0  | 0   | 0  | 0  | 0    | 27  | 42 | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0   | 0  | 5  | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  |
| Bopa    | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 48   | 53  | 57 | 0     | 0   | 63 | 0   | 0  | 56 | 7    | 104 | 3  | 140  | 0  | 6  | 8    | 0  | 26 | 0    | 12 | 0  | 108 | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  |
| Dogbo   |      |    |    |      |    |    | 31   |     |    |       |     |    |     |    |    |      |     |    |      |    |    |      |    |    |      |    |    |     |    |    |     |    |    |     |    |    |
| Tota    | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0   | 0  | 37    | 116 | 4  | 0   | 15 | 27 | 102  | 0   | 31 | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0   | 0  | 36 | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  |
| Lonkly  | 0    | 0  | 0  | 0    | 11 | 0  | 41   | 0   | 0  | 8     | 24  | 0  | 0   | 19 | 0  | 31   | 6   | 34 | 0    | 18 | 6  | 46   | 69 | 0  | 0    | 0  | 0  | 0   | 0  | 71 | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  |
| Toffo   | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 72   | 73  | 11 | 0     | 0   | 70 | 0   | 12 | 45 | 13   | 38  | 0  | 0    | 0  | 0  | 34   | 0  | 0  | 18   | 63 | 0  | 0   | 0  | 64 | 11  | 0  | 0  | 0   | 0  | 3  |
| Athiémé | 0    | 0  | 0  | 0    | 0  | 0  | 0    | 0   | 11 | 0     | 0   | 57 | 0   | 0  | 54 | 0    | 0   | 14 | 32   | 0  | 0  | 0    | 25 | 63 | 0    | 14 | 0  | 0   | 0  | 0  | 55  | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  |

|  |                               |
|--|-------------------------------|
|  | Période favorable à la plante |
|  | Période sèche défavorable     |
|  | Période humide défavorable    |

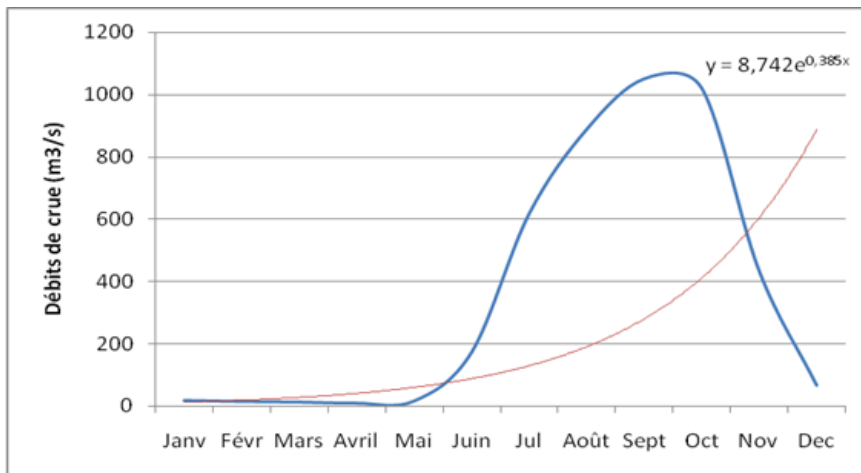
| RFU         | Avril   |       |       | Mai   |       |       | Juin       |       |       |            |
|-------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|-------|-------|------------|
|             | D1      | D2    | D3    | D1    | D2    | D3    | D1         | D2    | D3    |            |
| Humide      | 1,2     | 4,7   | 42,4  | 72,6  | 15,8  | 101,8 | 29,5       | 102,4 | 66,5  |            |
| Déficitaire | 127,3   | -5,9  | -13   | 23,9  | -21,5 | 123,2 | -6,4       | 82,8  | 28,1  |            |
| Moyenne     | -8      | 49,2  | 101,4 | 11    | -6    | 118,1 | 72,4       | 99,3  | 21,9  |            |
| Be/maïs     | 14,36   | 25,06 | 36,33 | 32,97 | 42,21 | 48,51 | 34,43      | 19,63 | 15,13 |            |
| Be/niébé    | 11,25   | 25,09 | 26,12 | 32,2  | 41,55 | 52,01 | 44,86      | 17,14 | 16,25 |            |
| Be/tomate   | 15,52   | 14,47 | 24,22 | 22,29 | 42,21 | 46,2  | 32,4       | 18,12 | 17,05 |            |
| Be/Piment   | 12,22   | 16,37 | 22,22 | 23,18 | 44,32 | 47,4  | 31,42      | 17,18 | 16,17 |            |
| Phase       | Initial |       |       | Dévpt |       |       | Maturation |       |       | Fin saison |

Les chiffres du tableau concernent la réserve facilement utilisable (RFU) du sol. De l'analyse des tableaux 2, 3 et 4, seules les cultures telles le maïs (14,36 mm), le niébé (11,25 mm), la tomate (15,52 mm) et le piment (12,22 mm) arrivent à satisfaire leurs besoins hydriques en début de saison culturale (fin mars à début avril). Mais, en année déficitaire, la RU est toujours insuffisante pour satisfaire ce besoin. En année excédentaire, la RU est suffisante pour satisfaire au besoin des 22,29 mm de la tomate et de 23,18 mm du piment. Il en est de même pour le maïs et le niébé qui sont relativement satisfaites en eau en année humide et excédentaire. En début et au cours de la phase de maturation, la plupart des cultures pratiquées dans le bassin sont relativement satisfaites par la RU, ce n'est seulement qu'à la dernière décade de cette période que se manifeste un déficit hydrique en année moyenne et déficitaire. Ces résultats confirment ceux de [22] en affirmant dans ses recherches que le mois de juin est parfois marqué par des poches de sécheresse au cœur de la saison agricole.

Mais, que ce soit en année excédentaire, moyenne ou déficitaire, la deuxième décade du mois de juin est parfois une période humide défavorable au maïs et au niébé en ce sens qu'elle est marquée par des écoulements supérieurs à 100 mm voir plus de 200 mm alors que les cultures entament leur période de sénescence où l'activité vitale de la plante est au ralenti. En cette période, les besoins en eau de la plante ne sont plus importants. Aussi, cet écoulement important ne favorise pas l'alimentation de la RU, les eaux sont plutôt ruisselées vers les cours et plans d'eau. Les pluies les plus intenses (162mm/heure en 15 mn) identifiées par les résultats de l'analyse Intensité-Durée-fréquence (IDF) surviennent au cours de cette décade. La deuxième décade du mois de juin, représente une période sensible pour les cultures annuelles dans le bassin en ce sens qu'elle est extrêmement excédentaire pour des cultures qui n'ont pas besoin d'une quantité importante d'eau. Les cultures prêtes à être récoltées sont souvent détruites au cours de cette période par l'excès d'eau. Selon 75 % des agriculteurs interrogés, seule une réadaptation du calendrier agricole pourrait permettre de faire face à cette contrainte. Mais, là encore la mesure n'est pas efficace, tenir un bilan hydrique régulier sera un meilleur moyen d'adaptation.

### III-2. Vulnérabilité des cultures aux crues et inondations

La vulnérabilité des cultures aux crues dans le bassin du Mono est aussi fonction de la coïncidence du calendrier agricole avec le régime hydrologique du fleuve Mono. Selon [20], la variation de la quantité d'eau disponible dans les premiers horizons du sol dépend non seulement des pluies mais aussi des apports d'eau du fleuve en période de crue. Or, les périodes de crue ne correspondent pas nécessairement aux périodes de forte occurrence pluviométrique. La vulnérabilité aux crues des cultures est fonction de la quantité d'eau disponible au cours de ses différentes phases de croissance. Le régime des crues et les périodes de développement des principales cultures dans le bassin du Mono sont illustrés à la **Figure 7**.



| Période       | →   |     | ← |  | →    |      |     |     | ← |  |      |          |
|---------------|-----|-----|---|--|------|------|-----|-----|---|--|------|----------|
|               |     |     |   |  |      |      |     |     |   |  |      |          |
| Maïs 90 jours | Mat | Réc |   |  | Sem  | Flor | Mat | Réc |   |  | Sem  | Flor Epi |
| Patate douce  | Mat | Rec |   |  | Bout | Cro  | Mat | Rec |   |  | Bout | Croi     |
| Piment        | Rec |     |   |  | Tran | Flor | Rec |     |   |  | Tran | Flor Fru |
| Niébé         | Mat | Rec |   |  | Bout | Flor | Mat | Rec |   |  | Sem  | Flor     |
| Tomate        | Rec |     |   |  | Tran | Flor | Rec |     |   |  | Tran | Flor Fru |

**Figure 7 :** Régime des crues et des périodes de développement des principales cultures dans le bassin du Mono

Sem : semis, Lev : levée, Flor : floraison, Epi : épiaison, Mat : maturation, Bout : Bouturage, Tran : transplantation, Fru : Fructification

Les crues du Mono débutent à une période où une bonne partie du maïs de la première saison agricole se trouve en phase de maturation donc n'ayant pas besoin de grandes quantités d'eau. L'augmentation de l'humidité des sols consécutive aux inondations entraîne la destruction de la culture de maïs en phase de maturation. Au total, le calendrier agricole calqué sur le régime pluvio-hydrologique du fleuve Mono constitue le principal facteur de la vulnérabilité des cultures aux événements extrêmes. Les phases sensibles de leur croissance sont marquées par une forte occurrence des pluies extrêmes et des débits de crue.

### III-3. Relation de dépendance entre la production et les événements hydroclimatiques

Les résultats de l'estimation de la production des cultures choisies en fonction de la variation des extrêmes hydroclimatiques à l'aide du modèle économétrique sont présentés dans le **Tableau 5**.

**Tableau 5** : Résultats des estimations de la production agricole en fonction des paramètres climatiques

| Variables       | Cultures  |           |           |              |            |            |           |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|--------------|------------|------------|-----------|
|                 | Maïs      | Niébé     | Riz       | Patate douce | Piment     | Tomate     | Manioc    |
| C               | 8,353101* | -0,348692 | 5,537026* | 3,603788     | -1,607873  | -0,182571  | 1,769896  |
| DEBM            | 6,00E-05  | 7,25E-05  | -8,00E-05 | -0,000171    | -7,61E-05  | 4,90E-05   | 9,45E-05  |
| ETR             | -0,000101 | 0,000173  | -0,000298 | -7,14E-05    | -9,77E-05  | 0,000880** | -2,74E-07 |
| INS             | -0,000249 | -0,000142 | -0,00065* | 0,000127     | 0,000192   | -0,000143  | -0,000151 |
| LPLUV           | -0,082*** | -0,019400 | -0,188555 | 0,239665     | -0,061743  | 0,107702   | -0,033186 |
| LSUP            | 0,327383* | 0,929530* | 0,927873* | 0,837196*    | 1,124979*  | 1,015206*  | 0,930326* |
| LTEMP           | 0,058391  | 0,217446  | -0,274223 | -0,7128**    | 0,823077** | -0,038454  | 0,529011* |
| CO <sub>2</sub> | 3,86E-06* | 2,06E-07  | 9,01E-07  | 1,06E-06     | 7,80E-07   | -4,02E-08  | 2,62E-07  |
| R-carré ajusté  | 0,98      | 0,97      | 0,96      | 0,83         | 0,82       | 0,96       | 0,97      |
| Prob (F-stat)   | 0,000     | 0,000     | 0,000     | 0,000        | 0,000      | 0,000      | 0,000     |

Source : Réalisé à partir des estimations, mai 2012

\* variable significatif au seuil de 1 % ; \*\* variable significatif au seuil de 5 % ; \*\*\* variable significatif au seuil de 10 %

Le **Tableau 5** montre que l'ensemble, des équations estimées ont une bonne spécification et sont globalement significatives comme le montrent les R-carré ajusté et les probabilités des statistiques de Fisher des différents modèles estimés. Aussi, la significativité des coefficients obtenus et leurs

signes différent pour une même variable d'une culture à une autre sauf au niveau de la superficie emblavée qui a un effet positif et significatif au seuil de 1 % sur la production quel que soit la culture considérée. Il faut aussi noter que l'impact des débits maxima varie selon les cultures mais que cet impact est non significatif quel que soit la culture considérée. Par ailleurs, une augmentation de la pluviométrie de 1 % entraîne une réduction de la production de maïs de 0,082 % par contre une augmentation des émissions de CO<sub>2</sub> d'une unité provoquerait une augmentation de la production de maïs de 3,8610<sup>-6</sup> unité. Une augmentation de la température de 1 % aura pour effet une réduction de la production de patate de 0,712 % pour le piment et une augmentation de la production de 0,82 % et 0,52 % respectivement pour le piment et le manioc. Une augmentation de l'insolation d'une unité entraînerait une réduction de la production de riz de 0,00065 unité et une augmentation des évaporations d'une unité entraînerait une augmentation de la production de tomate de 0,00088 unité. La variation des extrêmes hydroclimatiques influe sur la production agricole de façon différenciée. Le maïs qui est la culture la plus pratiquée dans le bassin est influencé négativement par l'augmentation des pluies de 1 % au-delà des valeurs moyennes. Ainsi, les mois de mi-juin, juillet et août correspondent à des périodes agricoles très difficiles car, les pluies enregistrées au cours de ces périodes s'ajoutent à la nature du sol pour causer des pertes de cultures du fait de l'excès d'eau.

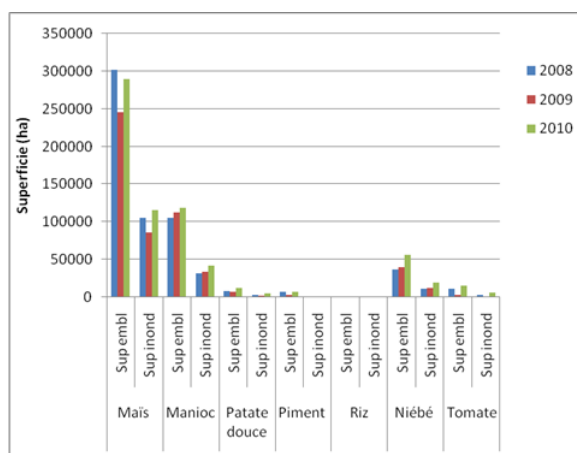
#### **III-4. Impacts observés des événements hydro-climatiques sur la production agricole du bassin**

Les pertes de semis sont causées par les forts ruissellements provoqués par les pluies violentes d'une part et les déficits hydriques au cœur de la saison agricole d'autre part. Selon les producteurs, ces pertes ont souvent cours dans le bassin au début de la première saison agricole dans le mois d'avril. Quant aux pertes de production, elles s'observent lors des inondations des champs provoquées par les eaux de ruissellement d'une part et par les eaux de crue du fleuve d'autre part. Dans les mois de juin, de juillet et d'août, les eaux de ruissellement envahissent les champs et détruisent les cultures. L'inondation de champ est illustrée à la planche photographique 1. De même, les cultures tardives sont souvent envahies par les eaux de crue dans les mois d'août et de septembre [17]. Selon 72 % des populations enquêtées, la culture la plus vulnérable à la montée des eaux est le manioc dont les racines encore sous terre pourrissent avec la survenance des inondations.



**Planche photographique 1 : Inondation d'un champ de maïs et de manioc**  
Source : [20]

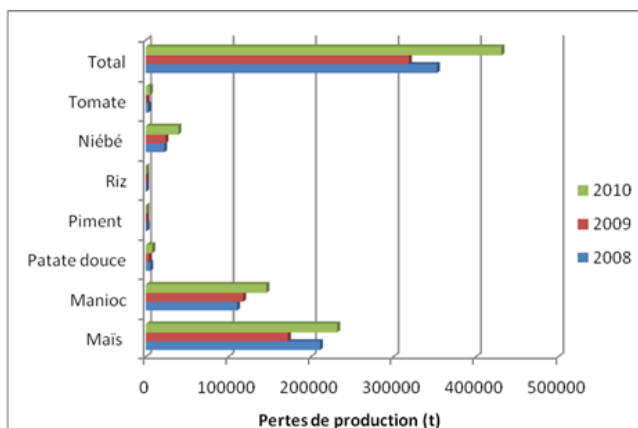
L'inondation des champs empêche le développement des cultures. **La Figure 8** présente les superficies emblavées et celles inondées des principales cultures dans le bassin au cours des campagnes agricoles de 2008, 2009 et 2010.



**Figure 8 : Superficies (ha) des principales cultures inondées dans le bassin inférieur du fleuve Mono en 2008, 2009 et 2010**  
Source des données : SCDA, enquêtes de terrain

Le maïs, le manioc et le niébé sont les cultures dont les champs sont les plus inondés dans le bassin. Cette situation s'explique par le fait que ces cultures sont celles les plus pratiquées dans le bassin, donc offrant plus d'espace susceptibles d'être inondés. En effet, le maïs avec une superficie de 290049 ha emblavée en 2010, représente 57 % de la superficie totale emblavée du bassin. Pour le manioc et la patate douce, respectivement 42,66 % et 42,97 % des superficies emblavées dans le bassin, ont été inondées en 2010. Au total, 190162,38 ha de champs toute culture confondue ont été inondées sur 502426 ha de superficies emblavées en 2010, soit 37,84 %. La destruction des cultures entraîne des pertes de production et des récoltes (**Figure 9**).





**Figure 9 :** Estimation des pertes de production par culture dans le bassin inférieur du fleuve Mono en 2008, 2009 et 2010

Source des données : ONASA, 2010 et traitements statistiques, 2012

Les pertes totales de production agricole estimées varient entre 330 000 et 430 000 tonnes toutes cultures confondues. Mais, c'est le maïs qui enregistre la perte la plus importante de sa production dans le bassin avec environ 211 067 tonnes perdues en 2008, 172 154 en 2009 et 232 039 en 2010.

#### IV - CONCLUSION

La vulnérabilité agricole du bassin du Mono aux événements hydro-climatiques est essentiellement due à l'organisation du calendrier agricole suivant le régime pluvio-hydrologique et des modes de conservation des récoltes. Ces événements entraînent la destruction des cultures, la perte de production, la dégradation du cadre socio-économique du bassin et l'amplification de la pauvreté. Or, dans le contexte de la forte fréquence des extrêmes hydroclimatiques, on assistera à une diminution de la production agricole dans le bassin. En effet, 190 162,38 ha de champs toute culture confondue ont été inondés sur 502 426 ha de superficies emblavées en 2010, soit 37,84 %.

## REFERENCES

- [1] - PNUE, ‘‘Rapport 2019 sur l’écart entre les besoins et les perspectives en matière de réduction des émissions’’. Résumé analytique, Nairobi/Kenya, 16 p.
- [2] - GIEC, ‘‘*Changements climatiques : Incidences, adaptation et vulnérabilité*’’, Résumé à l’intention des décideurs, (2014) 34 p.
- [3] - GIZ, adelphi et EURAC, ‘‘*Guide de référence sur la vulnérabilité: Concept et lignes directrices pour la conduite d’analyses de vulnérabilité standardisées*’’, Eschborn, Allemagne, (2015) 176 p.
- [4] - E. AMOUSSOU, P. CAMBERLIN et G. MAHE, ‘‘*Hydrological Sciences Journal*’’, Vol. 57, Issue 4, (2012) 805 - 817
- [5] - GIEC, ‘‘*Gestion des risques de catastrophes et de phénomènes extrêmes pour les besoins de l’adaptation au changement climatique*’’, Résumé à l’intention des décideurs’’, Rapport des Groupes de travail I et II, (2012) 32 p.
- [6] - I. YABI et F. AFOUDA, ‘‘*Quaternary International*’’, (2011) 1 - 5
- [7] - UNESCO et ONU-Eau, ‘‘*L’eau et les changements climatiques*,’’ Paris, UNESCO, (2020) 259 p.
- [8] - Agence Nationale de Protection Civile et PNUD, ‘‘*Inondations de 2019 au Bénin, rapport d’évaluation des besoins post catastrophe*’’, Cotonou, 133 p.
- [9] - OMS, ‘‘Protéger la santé face au changement climatique : évaluation de la vulnérabilité et de l’adaptation’’, Genève, Suisse, (2015) 80 p.
- [10] - I. N. DJENONTIN, ‘‘*Vulnérabilité des ressources en eau face aux changements climatiques et stratégies endogènes de gestion développées dans le secteur agricole : cas des Communes de Banikoara et de Malanville (Alibori-bénin)*’’, Thèse d’ingénieur agronome, FSA, UAC, (2010) 109 p.
- [11] - B. FARES, ‘‘*Etude et modélisation des crues des cours d’eaux en milieu semi-aride : cas des grands bassins versants 05, 06 et 07*’’, Diplôme de Magister en Hydraulique, (2012) 181 p.
- [12] - GIEC ‘‘*Gestion des risques de catastrophes et de phénomènes extrêmes pour les besoins de l’adaptation au changement climatique*’’, Résumé à l’intention des décideurs, Rapport des Groupes de travail I et II, (2012) 32 p.
- [13] - E. AMOUSSOU, Y. TRAMBLAY, H. S.V. TOTIN, G. MAHE et P. CAMBERLIN, ‘‘*Hydrological Sciences Journal*’’, 59 (11) (2014) 2060 - 2071

- [14] - E. AMOUSSOU, "Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin-versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest)" Thèse de Doctorat unique, Université de Bourgogne, Dijon, CRC – CNRS- UMR5210, (2010) 313 p.
- [15] - M. BOKO, F. KOSMOWSKI et E. W. VISSIN, "Les Enjeux du Changement Climatique au Bénin", Cotonou, (2012) 72 p.
- [16] - E. AMOUSSOU, E. W. VISSIN et M. BOKO, in "Climat et Développement", (8) (2009) 24 - 35
- [17] - B. DONOU, "Événements pluvio-hydrologiques extrêmes et production agricole dans le delta du fleuve Ouémé", Mémoire de DEA. FLASH/EDP, (2009) 85 p.
- [18] - F. OLIVRY, "Exploration d'une méthode d'évaluation de la vulnérabilité des systèmes essentiels d'une région face aux extrêmes météorologiques dans un contexte de changements climatiques", (2012) 144 p.
- [19] - B. IBRAHIM, "Caractérisation des saisons de pluies au Burkina Faso dans un contexte de changement climatique et évaluation des impacts hydrologiques sur le bassin du Nakanbé", Laboratoire de Météorologie Dynamique de Paris (UPMC) et Laboratoire d'Hydrologie et Ressources en Eau (2iE). These de Doctorat, (2012) 245 p.
- [20] - B. DONOU, R. OGOUWALE, E. OGOUWALE et M. BOKO, In "Actes du XXIIIeme colloque de l'Association Internationale de Climatologie (AIC)", (2010) 179 - 184
- [21] - M. S. ISSA, "Impacts potentiels d'un changement climatique dû au doublement du CO<sub>2</sub> atmosphérique sur l'agriculture en République du Bénin", Mémoire de DESS. Université Senghor d'Alexandrie, (1995) 113 p.
- [22] - M. A. BAUDOIN, "Geo-Eco-Trop.", 34 (2010) 155 - 169