

## **Évaluation des modalités de contamination agricole des eaux de surface de l'Ouémé supérieur au Bénin**

**Nonvignon Martial FASSINOU\***, Fadéby Modeste GOUISSI, Wakili Bolatito YESSOUFOU,  
Souradjou OROU GOURA et Tayéwo Sylvain BIAOU

*Université de Parakou (UP), Faculté d'Agronomie (FA), Laboratoire d'Ecologie, de Santé et de Productions  
Animales (LESPA), BP 123 Parakou, Bénin*

(Reçu le 14 Mars 2023 ; Accepté le 10 Mai 2023)

---

\* Correspondance, courriel : [nonvignon91@gmail.com](mailto:nonvignon91@gmail.com)

### **Résumé**

La présente étude a pour but d'évaluer les modalités de contamination agricole des eaux de l'Ouémé supérieur au nord Bénin. Le guide d'entretien semi-structuré a permis d'avoir une vue d'ensemble sur les pratiques culturales et les modalités de contaminations. Cent quatre-vingt-dix (190) chefs ménages agricoles dans (04) quatre communes ont fait l'objet de l'étude. La statistique descriptive a été réalisée sur les données liées aux techniques agricoles et les pressions anthropiques sur l'environnement d'une part puis les méthodes de lutte contre les ravageurs d'autre part. Une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) a été réalisée avec le logiciel R version 3.5.0 afin de mettre en relation l'utilisation des produits phytosanitaires et les productions agricoles d'une part et d'autre part pour établir le lien entre les érosions des terres et les pressions sur les eaux de surface. Le ruissellement est décrit comme une voie de transfert d'eau et des contaminants vers les eaux de surface. L'augmentation des surfaces cultivables, les feux de brousses, le déboisement sont les différentes pressions anthropiques sur l'environnement. Toutes les zones de l'étude sont soumises à une énorme pression agricole. Les couverts végétaux sont détruits et favorisent la mise à nue des terres et par conséquent favorisent l'augmentation du ruissellement. Le taux élevé (82 %) d'application de la lutte chimique par les producteurs dans le système agricole contribue à la contamination des eaux de surface. L'usage agricole des produits phytosanitaires et l'érosion des terres sont aussi responsables de la contamination des ressources en eau. La contamination des eaux est rapportée à la fonction du milieu dans lequel elle est observée.

**Mots-clés :** *agriculture, contamination agricole, eaux de surface, Ouémé supérieur, Bénin.*

### **Abstract**

**Evaluation of the modalities of agricultural contamination of surface waters of the upper Ouémé in Bénin**

The purpose of this study is to evaluate the methods of agricultural contamination of the waters of the upper Ouémé in northern Benin. The semi-structured interview guide provided an overview of farming practices and contamination modalities. One hundred and ninety (190) of agricultural household heads in four (4) communes

were chosen for the research. The descriptive statistics were carried out on data related to agricultural techniques and anthropogenic pressures on the environment on the one hand, and pest management methods on the other hand. A Factorial Correspondence Analysis (FCA) was carried out with the software R version 3.5.0 in order to relate the use of phytosanitary products to agricultural productions on the one hand and on the other hand to establish the link between soil erosion and surface water pressures. Runoff is described as a water and contaminant transfer pathway towards surface waters. The increase in cultivable areas, bush fires, deforestation are the various anthropogenic pressures on the environment. All of our study areas are under enormous agricultural pressure. Vegetation cover is destroyed and promotes the stripping of land and therefore promotes the increase in runoff. The high rate (82 %) of application of chemical control by producers in the agricultural system contributes to the contamination of surface waters. Agricultural use of phytosanitary products and soil erosion are also responsible for the contamination of water resources. Water contamination is related to the function of the environment in which it is observed.

**Keywords :** *agriculture, agricultural contamination, surface water, upper Ouémé, Bénin.*

## 1. Introduction

Les eaux de surface sont exploitées à plusieurs fins diverses. L'accroissement de la demande en eau lié à la croissance démographique et à la multiplication des usages amènent les gestionnaires des ressources en eau à faire face aux problèmes de pollution, de mauvaise gestion et de pénurie [1]. Dans le contexte actuel de la politique de gestion durable des ressources en eau, la prédiction du risque de pollution et la protection de ces ressources sont d'une importance capitale. L'eau est une composante de l'environnement la plus vulnérable aux différentes contaminations [2]. L'utilisation des pesticides est un impact négatif sur l'environnement, les écosystèmes et les êtres humains, notamment à cause de leur toxicité et leur pouvoir biocide [3]. En effet, l'expansion démographique et l'essor économique que connaissent les pays du monde sans occulter ceux de l'Afrique ont des conséquences sur l'environnement et sur les plans d'eau [4]. Alors, les contaminants agricoles des eaux de surface présentent le plus souvent une forte variabilité temporelle, ce qui représente l'un des problèmes majeurs auquel est confronté l'exploitant des ressources en eau [5]. Les insecticides, les herbicides, les fongicides sont appliqués en grandes quantités dans beaucoup de pays développés et en voie de développement, entraînant la pollution de l'eau douce [6]. Ces rejets augmentent la charge en matières organiques des eaux superficielles et leur contamination peut se répercuter sur la chaîne alimentaire [7]. La littérature démontre que ce processus peut être majeur parmi les autres mécanismes de transfert de la contamination des rivières [8]. Par ailleurs, l'utilisation des eaux d'irrigation généralement infectées par les produits phytosanitaires, font naître le soupçon que la contamination des cultures maraîchères peut être critique [9]. Les ressources en eau sont sous la pression croissante de l'activité économique et de la concurrence grandissante des différents utilisateurs. Ce travail a pour objectif d'évaluer les modalités de contamination agricole des eaux de surface de l'Ouémé supérieur au Bénin.

## 2. Matériel et méthodes

### 2-1. Zone d'étude

Au Bénin, la commune de Parakou est située à 9° 21' 00" Nord, 2° 37' 00" Est et celle de Tchaourou est à 8° 53' 00" Nord, 2° 36' 00" Est dans le département du Borgou. La commune de Copargo se retrouve à 9° 50' 15" Nord, 1° 32' 53" Est et celle de Bassila est à 9° 00' 29" Nord, 1° 39' 55" Est dans le département de la Donga. La *Figure 1* montre les situations géographiques et hydrographiques des zones d'étude.

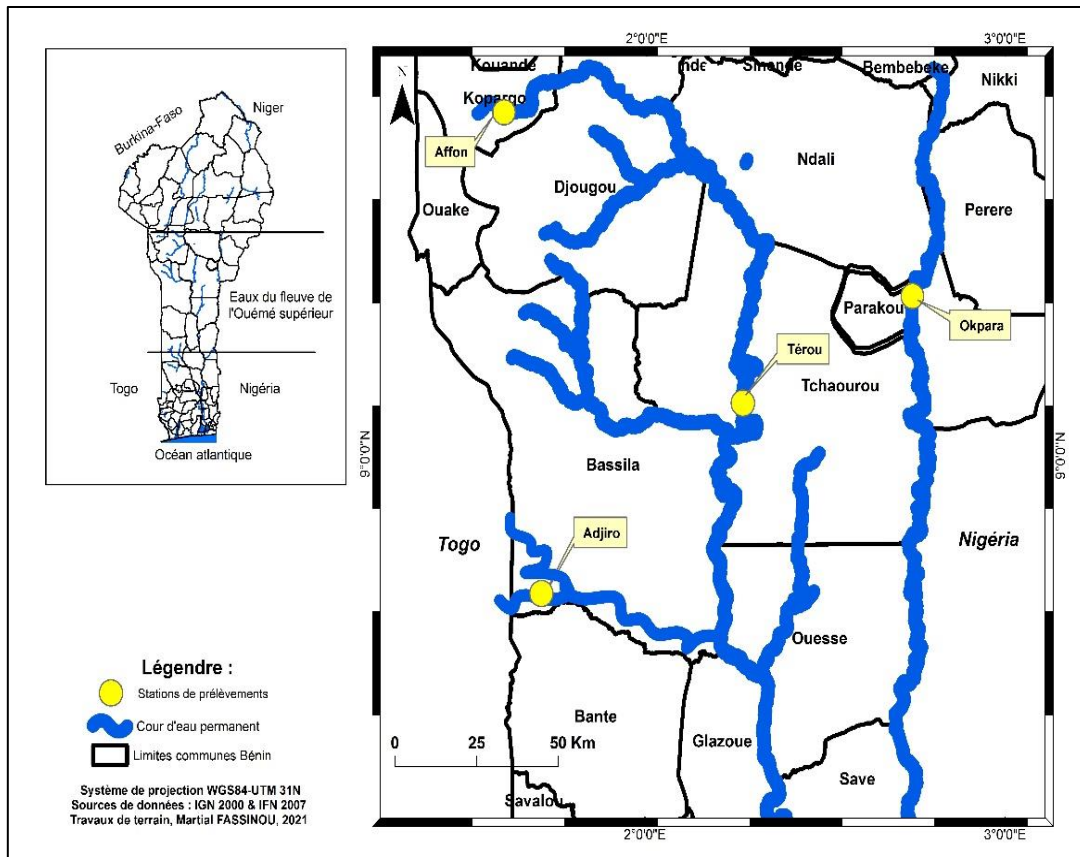


Figure 1 : Situation géographique et hydrographique des zones d'étude

## 2-2. Milieu naturel

La commune de Parakou et de Tchaourou dans le département du Borgou, bénéficie d'un climat de type soudanien avec une saison sèche et une saison de pluies. La pluviométrie annuelle varie entre 900 mm et 1300 mm par an. Il est important de noter que la saison des pluies commence en Avril et dure sept mois environ. La température moyenne annuelle s'établit autour de 26°C avec un maximum de 35°C en Mars et redescend aux environs de 23°C en Décembre-Janvier. L'humidité relative varie entre 30 et 70 %. Les sols ferrugineux tropicaux sont dominants dans les communes de Parakou et de Tchaourou où ils sont profonds, non concrétionnés et soumis au lessivage. Dans cette perspective, les sols hydromorphes se retrouvent dans les vallées le long de la rivière Okpara dans les communes de Parakou et de Tchaourou. La végétation du Borgou est une savane à physionomie diversifiée où la densité des arbres diminue vers le Nord. D'autre part, les communes de Copargo et de Bassila, bénéficient des chaînes des Tanékas (654 m) et surtout de plaines mollement ondulées environ 150 m à 200 m d'altitude. Le climat est du type soudano-guinéen, caractérisé par une alternance d'une saison sèche (mi-October à mi-Avril) et une saison pluvieuse (mi-Avril et mi-October). La normale des précipitations se situe entre 1200 mm et 1300 mm avec le mois d'Août comme le mois le plus pluvieux. Les sols sont de types minéraux bruts, ferrugineux tropicaux indurés et hydromorphes. Les forêts classées occupent plus de la moitié de la superficie de la commune de Bassila et une partie de la commune de Copargo où l'on rencontre la savane arborée ou arbustive.

## 2-3. Choix des rivières et villes traversées

Les rivières qui ont été considérées pour notre étude sont les plus grands affluents de la partie supérieure du fleuve Ouémé. L'eau est disponible et accessible en toutes saisons dans les rivières. Les pratiques

agricoles à proximités des bassins versant ont été prises en compte ainsi que la couleur de l'eau comme indicateurs. Le **Tableau 1** illustre les villes traversées par les plus grands affluents de l'Ouémé supérieur et les rivières de l'étude.

**Tableau 1 : Villes traversées par les plus grands affluents de l'Ouémé supérieur**

Rivières	Villes traversées
Okpara (10000 Km <sup>2</sup> )	Parakou
Zou (8440 Km <sup>2</sup> )	Bassila
Affon (4320 Km <sup>2</sup> )	Copargo
Térou (3320 Km <sup>2</sup> )	Tchaourou

#### 2-4. Taille de l'échantillonnage

La taille de la population interviewée dans les communes a été déterminée par la **Formule** de Dagnelie de 1998 [10].

$$N = \frac{U_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 \times p(1-p)}{d^2} \quad (1)$$

$N$  = la taille minimale de l'échantillon de la population interviewée ;  $U_{1-\frac{\alpha}{2}}^2$  = la valeur obtenue de la table standard de distribution de la loi normale ;  $p$  = la proportion d'informateurs pour l'évaluation des modalités de contamination agricole des eaux de l'Ouémé supérieur dans les communes d'études ;  $d$  = la marge d'erreur de l'estimation ; Pour cette étude,  $U_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 = 1,96$  ;  $\alpha = d = 5\%$  et  $p = 59\%$  ;

Donc nous avons :

$$N = \frac{1,96 \times 59\% (1-59\%)}{0,05 \times 0,05} = 189,64 \quad (2)$$

$$N = 189,64 \text{ soit } \underline{N \approx 190}$$

Ainsi, la taille minimale de l'échantillon de la population interviewé est 190 ménages agricoles. Le **Tableau 2** montre les effectifs des enquêtés selon chaque commune d'étude.

**Tableau 2 : Effectifs des enquêtés par commune d'étude**

N°	Communes	Nombre de ménages	Tailles des ménages agricoles	Nombres enquêtés
1	Parakou	46181	5,5	35
2	Tchaourou	20303	7,4	48
3	Copargo	7246	9,8	63
4	Bassila	6706	6,9	44
Total	4	126566	29,6	190

Source : INSAE (2016)[11] et prospection du terrain

## 2-5. Analyse des données

La statistique descriptive a été réalisée sur la base de la nature qualitative des données collectées liées aux techniques agricoles et aux pressions anthropiques sur l'environnement. Un camembert a été réalisé afin de décrire les méthodes de lutte contre les ravageurs. La description de la pollution sur toutes ces formes a été faite. Une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) a été réalisée avec le logiciel R version 3.5.0, afin d'établir la relation existante entre l'usage des produits phytosanitaires et les productions agricoles. Les descriptions sur l'origine des micropolluants et les contaminations des eaux de surface ont été faites. Afin d'établir la corrélation entre l'érosion des terres et les pressions sur les eaux de surface. Une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) a été également réalisée. Le fonctionnement du bassin versant et le transfert des diverses sources de pollution ont été décrits.

## 3. Résultats et discussion

### 3-1. Caractéristiques sociodémographiques des producteurs

Les producteurs et les jardiniers rencontrés et enquêtés sont majoritairement des hommes (91 %) âgés de 24 à 69 ans. Quatre-vingt-deux pourcent (82 %) d'entre eux n'ont reçu aucune instruction, 11 % ont atteint le niveau primaire et seulement 12 % ont reçu dans les années antérieures une formation sur les traitements phytosanitaires de leurs différentes cultures vivrières et céréalières. Les traitements phytosanitaires sont exclusivement réalisés aussi bien par les hommes que par les femmes. Le **Tableau 3** montre les caractéristiques sociodémographiques des producteurs du milieu d'étude.

**Tableau 3 :** *Caractéristiques sociodémographiques des producteurs du milieu d'étude*

Caractéristiques des producteurs	Pourcentage (%) sur le total
Sexe	
Hommes	91
Femmes	9
Niveau d'instruction	
Primaire	11
Secondaire	7
Aucun	82
Nombre de formations reçues sur les traitements phytosanitaires	
≥ 1	12
Aucun	88

Les actions de l'homme conjuguées aux facteurs climatiques demeurent les causes fondamentales de toutes les transformations qui ont entamé l'état des ressources eau [12]. C'est l'un des principaux problèmes de l'environnement, en raison d'une part des conséquences sanitaires et économiques puis d'autre part, des pressions exercées sur les ressources du fait de l'accroissement des besoins en eau [13]. Le faible taux d'instruction et le manque de formation des producteurs constituent les principaux facteurs conduisant à une utilisation abusive des produits phytosanitaires le long des eaux de surface de l'Ouémé supérieur. En effet, la contamination est généralement la conséquence de son utilisation dans les différentes activités humaines [14].

### 3-2. Processus de transfert des contaminants vers l'hydro système par ruissellement

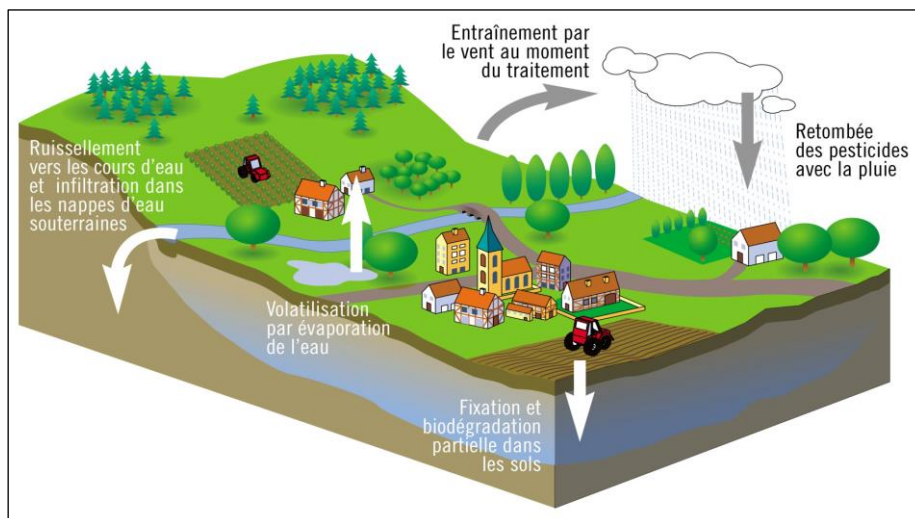
Le ruissellement a été décrit comme une voie de transfert d'eau et des contaminants vers les eaux de surface. La production de ruissellement correspondait à des zones propices après réception de la pluie. Les transferts de l'eau sur le sol ont suivi des cheminements parfois complexes et ont été opérés le long des axes d'écoulements, qu'ils soient naturels ou artificiels (canalisations des eaux pluviales, drains agricoles et voirie). L'accumulation du ruissellement correspondait à des zones d'engorgement, aboutissant généralement aux eaux de surfaces (rivières, lacs, plans d'eau). Le ruissellement a été structuré en trois grandes étapes dont nous avons : la production, le transfert et l'accumulation. La genèse du ruissellement provient de la modification de la structure du sol par les précipitations qui obstruent les pores du sol et provoquent une diminution de la vitesse d'infiltration, une saturation de la surface du sol puis la production d'une lame d'eau par écoulement laminaire à surface simple [15].

### 3-3. Techniques agricoles et pressions anthropiques sur l'environnement

Pour les risques de dégradation, il a été convenu de réduire le ruissellement en agissant sur la structure du sol et de limiter l'écoulement rapide de l'eau sur les parcelles et de limiter les transferts des polluants vers les cours d'eau. A priori, 33,33 % des ménages agricoles dans la commune de Copargo faisaient le labour profond et le labour en billon. Ce pourcentage a varié dans les autres communes, dont la commune Tchaourou (24,87 %), ensuite la commune de Bassila (23,28 %) et enfin celle de Parakou (18,52 %). L'augmentation des surfaces cultivables, les feux de brousses, le déboisement ont été les différentes pressions anthropiques sur l'environnement. En effet, toutes les zones d'étude ont été soumises à une énorme pression anthropique. Les couverts végétaux détruits ont favorisé la mise à nue des terres pendant les périodes de la saison sèche. Par ailleurs, elles ont favorisé l'augmentation du ruissellement, ne facilitant pas la pénétration de l'eau dans le sol et provoquant l'érosion du sol.

### 3-4. Différentes voies de diffusion des pesticides dans le milieu

L'impact des pesticides vers le milieu réceptacle est très dépendant du mode d'application, de la configuration de la parcelle, de sa place dans le paysage et de la stabilité de la molécule. La **Figure 2** montre les voies de diffusion des pesticides dans le milieu.



**Figure 2 :** Différentes voies de diffusion des pesticides dans le milieu

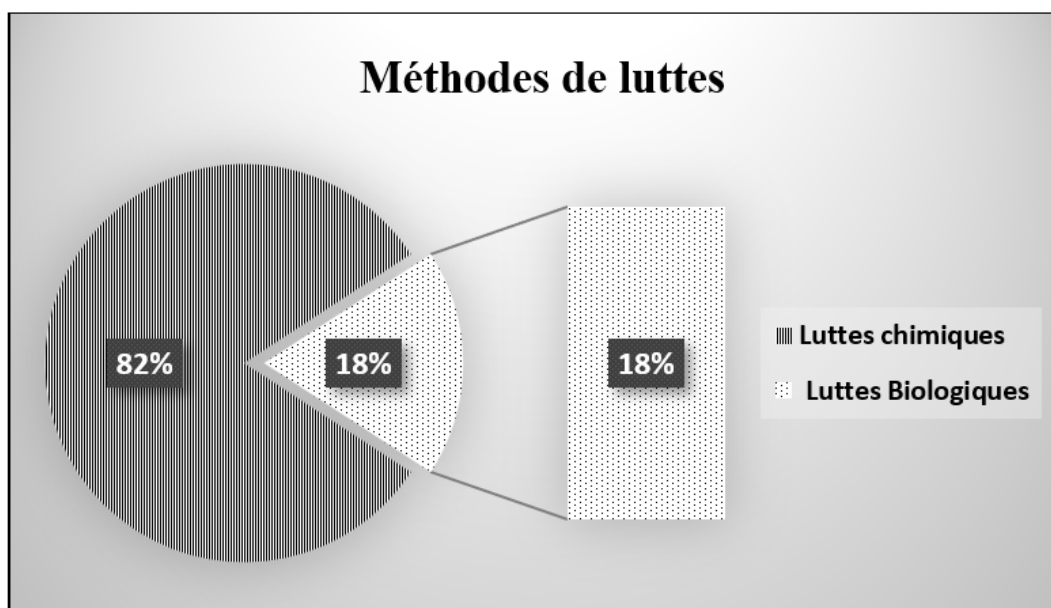
La **Figure 3** montre les intrants agricoles, dont les herbicides FAABA pour le coton et ARTRAZINE pour le maïs dans le marché noir.



**Figure 3 :** *Produits phytosanitaires à Kpassa dans la commune de Tchaourou*

### 3-5. Méthode de lutte contre les ravageurs

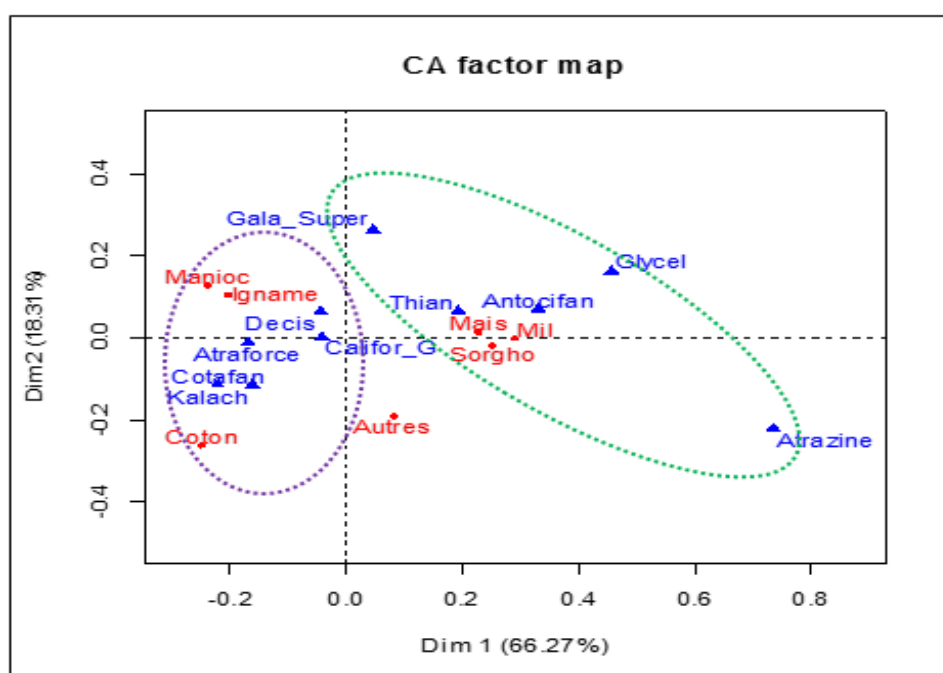
Dans l'intérêt de lutter contre les ravageurs, différentes méthodes de lutte ont été adoptées par les producteurs. La lutte chimique a été la méthode la plus facile et la plus simple, ne sachant pas les risques de santé auxquels ils sont exposés, de même que la pollution de l'environnement immédiat dans lequel ils sont. Pour les différentes méthodes de lutte adoptées, 82 % des producteurs ont préféré la lutte chimique contre 18 % qui ont fait l'usage de la lutte biologique. Ce taux élevé d'application de la lutte chimique par les producteurs dans le système agricole a impliqué clairement les différents effets de cause sur les eaux de surface dans les processus de transfert. La **Figure 4** montre les différentes méthodes de lutte contre les ravageurs des cultures.



**Figure 4 :** *Méthodes de lutte contre les ravageurs des cultures*

### 3-6. Produits phytosanitaires et productions agricoles

Afin de décrire les relations entre les produits phytosanitaires et les productions agricoles, une analyse factorielle de correspondance simple a été réalisée dans le logiciel R 3.5.0. Les résultats de cette analyse ont indiqué que les deux premiers axes factoriels ont expliqués à 84,58 % les variations, ce qui a garanti une très bonne précision d'interprétation. La projection des produits phytosanitaires et des productions agricoles dans les systèmes d'axes ont indiqué que les herbicides (Kalach, Atrforce, Califor G) et les insecticides (Cotafan, Décis) ont été beaucoup plus utilisés dans les productions du coton, d'igname et de manioc d'une part. D'autre part, la production du maïs, sorgho, mil et autres cultures vivrières ont été actionnées par l'utilisation des herbicides (Gala super, Atrazine, Glycel) et les insecticides (Tihan, Antocifan). La **Figure 5** montre la projection des produits phytosanitaires et productions agricoles dans le système d'axe factoriel 1 et 2.



**Figure 5 :** Projections des produits phytosanitaires et productions agricoles dans le système d'axe factoriel 1 et 2

Les surfaces agricoles traitées par les pesticides peuvent, en fonction des conditions climatiques et des types de culture, être qualifiées de « sources critiques de pollution », c'est-à-dire contribuant à l'export de pesticides via le ruissellement [16]. Le coton utilise à chaque saison culturale des milliers de litres de pesticides stockés puis pulvérisés par les producteurs, sans un minimum de précautions pour éviter les risques de contamination [17]. Ainsi l'état hydrique d'un bassin détermine les types de sources actives mais aussi les taux de transfert. Au Bénin, les pesticides sont dispersés volontairement dans l'espace rural pour détruire divers ravageurs des cultures. Ils sont utilisés dans l'agriculture pour apporter des approches de solutions à divers problèmes que les acteurs du secteur rencontrent [6, 7, 18, 19]. Les pesticides sont des substances chimiques très utilisées dans l'agriculture. Ils exercent une activité de contrôle contre les organismes considérés nuisibles par l'homme pour ses activités [6]. Par ailleurs, la réduction de la pollution des eaux de surface par les produits phytosanitaires passe par la compréhension et l'action à l'échelle de la parcelle agricole et à l'échelle du bassin versant [20]. Selon les statistiques du ministère de la Santé, les maladies d'origine hydrique représentent 54 % de l'ensemble des maladies [21]. L'aménagement des rivières a été identifié comme un rôle sur le transfert des pesticides par ruissellement, qui peut être limité par la végétalisation des berges par exemple [22]. Par contre, les eaux de surface qui sont plus vulnérables et sont devenues aujourd'hui de



véritables sites de vidanges [23]. L'influence de l'incendie sur la composition chimique des eaux de ruissellement se manifeste par l'augmentation de certaines teneurs en relation avec l'entraînement des éléments rendus rapidement mobilisables par la combustion des végétaux [24]. Donc, les activités anthropiques sont à l'origine de la plupart des pollutions des cours d'eau [25]. Il n'en demeure pas moins que les usages agricoles de ces produits ont également un impact qui peut être significatif sur les eaux de surface. L'impact de cette pollution sur les ressources en eau devient de plus en plus majeur [2]. La potabilité de l'eau destinée à un bon usage doit bénéficier d'une attention particulière. Pour ce fait, l'eau ne doit contenir ni substances chimiques dangereuses, ni germes.

### **3-7. Origine des micropolluants**

L'usage agricole des produits phytosanitaires peut être responsable de la contamination essentielle des ressources en eau. Les herbicides ont des matières actives utilisées par les collectivités pour le désherbage des champs ou autres, et dont la présence peut être mise en évidence dans les eaux de ruissellement vers les eaux de surface.

### **3-8. Pollution**

C'est l'introduction directe ou indirecte dans l'environnement, par suite de l'activité humaine, de substances ou de chaleur dans l'air, l'eau ou le sol, susceptibles pour des contaminations. Les matières organiques ont été naturellement émises par les végétaux et animaux, elles peuvent également être déversées par des élevages, entraînant une asphyxie du milieu par manque d'oxygène. L'azote est issu principalement du lessivage des engrais et effluents d'élevage dans les zones agricoles. Il est présent sous forme organique ou ammoniacale ( $\text{NH}_4^+$ ) dans les effluents, il se transforme en nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) dans le milieu naturel. Ajouté au déséquilibre des écosystèmes aquatiques, les nitrates sont soupçonnés d'avoir des effets cancérigènes sur les organes digestifs du vivant aquatique et de l'homme. Le phosphore a été un danger d'eutrophisation pour les milieux aquatiques. Il provenait des eaux usées domestiques, des effluents industriels, de l'agriculture et de l'érosion des sols.

### **3-9. Contamination des cours d'eau**

La concentration des contaminants agricoles dans les eaux de surface présente le plus souvent une forte variabilité temporelle, ce qui représente l'un des problèmes majeurs auxquels sont confrontés les exploitants agricoles ou les usagers des ressources en eau. En effet, cette augmentation se caractérise par des phases saisonnières de fortes concentrations liées à la période d'application des produits phytosanitaires sur les cultures. Par ailleurs, des concentrations significatives de certains polluants peuvent être observées de façon permanente. Par exemple, les herbicides (Kalach, Atrforce, Califor G, l'Atrazine, etc.) de même que les insecticides appliqués sur certaines cultures dans les périodes de campagnes agricoles, augmentent la pollution des eaux de surface pratiquement chaque année. Cette manifestation de saisonnalité est due à l'entraînement de la matière active hors des parcelles par les écoulements superficiels liés aux périodes pluvieuses (ruissellement, assainissement agricole, etc.).

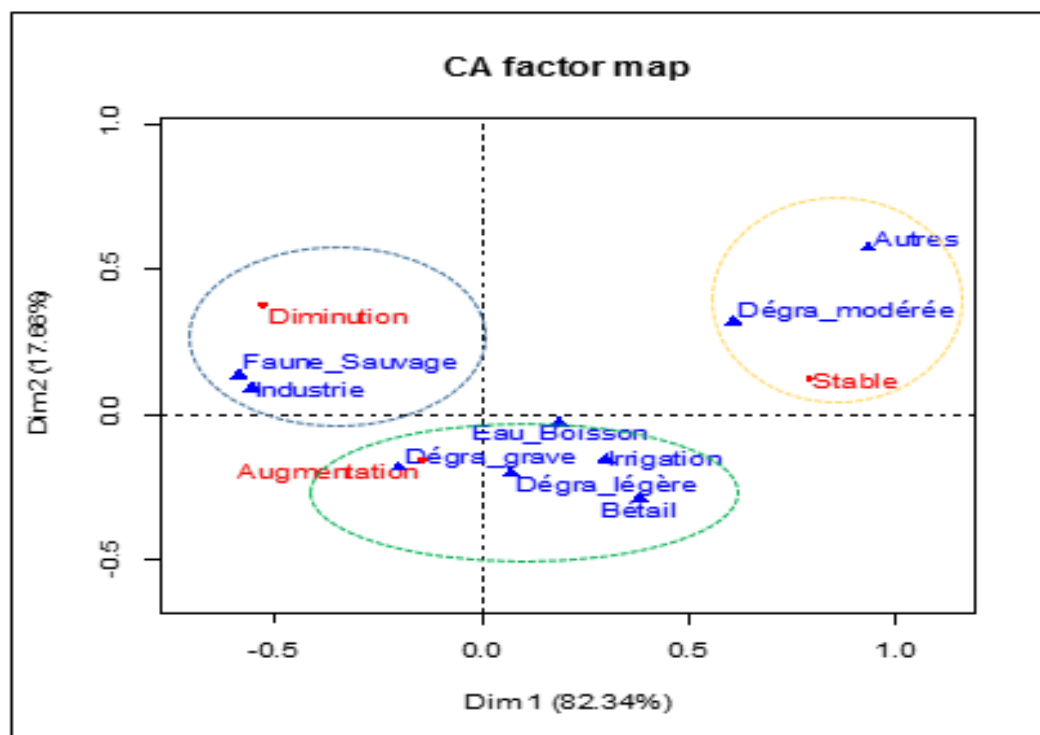
### **3-10. Fonctionnement du bassin versant et transfert des diverses sources**

L'état hydrique du bassin a déterminé les types de sources actives mais aussi les taux de transfert. Certaines sources ont été constantes mais peuvent être temporairement négligeables. D'autres ont donné lieu à des stockages plus ou moins par transition. Enfin, le transfert a modifié les formes transférées. L'ensemble de ces phénomènes a constitué le "fonctionnement du transfert des diverses sources de pollution". Les

constituants du bassin versant intervenant dans le transfert ont varié selon les propriétés et l'usage de l'élément considéré. Pour le phosphore, le système de transfert dans un bassin rural présente les caractéristiques suivantes : Le phosphore est l'élément qui se déplace en surface du bassin versant et elles sont liées à la vie courante en raison du rôle métabolique et lessiviel de cet élément.

### 3-11. Erosions des terres et pressions sur les eaux de surface

Les relations entre les érosions des terres et les pressions sur les eaux de surface ne sont pas des phénomènes à ignorer. Pour cette raison, une analyse factorielle des correspondances a été réalisée avec le logiciel R 3.5.0. Les résultats de cette analyse ont indiqué effectivement que les deux premiers axes factoriels expliquent à 100 % les variations, ce qui garantit une excellente précision d'interprétation. Dans ces activités agricoles, la dégradation des terres n'a fait que s'accroître. Nous avons constaté que les éleveurs dans le système d'abreuvement pour le bétail lors de pâturage n'ont fait que s'accroître et contaminent ainsi les eaux de surface. L'irrigation a été pratiquée par les jardiniers pour leurs activités de jardinage et n'a pas épargné. Il est urgent de souligner que l'eau de surface est considérée comme une eau de boisson quotidienne par certaines communautés ; ceci prenant d'ampleur de temps à autre. En outre, suite à la déforestation et la recherche des terres cultivables, la faune sauvage est menacée, une diminution de cette communauté est remarquable. Le Bénin n'étant pas un pays purement industrialisé, ce secteur est potentiellement affecté, pouvant agir dans la pollution atmosphérique. La **Figure 6** montre la projection des érosions des terres et pressions sur les eaux de surface dans le système d'axe factoriel 1 et 2.



**Figure 6 :** Projections des érosions des terres et pressions sur les eaux de surface dans le système d'axe factoriel 1 et 2

Les érosions des terres et les pressions sur les eaux de surface sont à la base de la destruction de l'environnement.

## 4. Conclusion

En somme, cette étude est une série d'enseignements plus généraux concernant la contamination des eaux superficielles par les produits phytosanitaires qui est aujourd'hui une réalité au Bénin et dans les pays occidentaux. La gravité de la pollution doit cependant être toujours rapportée à la fonction du milieu dans lequel elle est observée. Mais, pour satisfaire aux normes de qualité pour les eaux de surface, les solutions à développer doivent agir sur l'espace agricole. La qualité d'une eau est caractérisée par les diverses substances qu'elle contient, l'effet qu'elles ont sur l'écosystème et sur l'être humain. C'est la concentration de ces différents éléments qui détermine la qualité d'une eau et permet de savoir si celle-ci convient à un usage particulier. En somme, la contamination des cours d'eau par les produits phytosanitaires peut être appréhendée aux différentes échelles de la parcelle agricole et du bassin versant.

## Références

- [1] - E. W. VISSIN, Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger [PhD Thesis]. Université de Bourgogne, (2007) 310 p.
- [2] - F. DIMANE, K. HABOUBI, I. HANAFI, A. EL HIMRI and K. ANDALOUSSI, Impact des facteurs de pollution sur la qualité des eaux de la zone aval de la vallée de l'Oued Nekor (Al-Hoceima, Maroc). *European Scientific Journal, ESJ*, 13 (3) (2017) 43 - 60
- [3] - O. E. F. M. ILLATOU, Impacts de l'orpaillage et de l'agriculture sur la qualité des eaux du Liptako nigérien : Identification des hot spots des pollutions métalliques et organiques, transferts de connaissances entre recherche et terrain [PhD Thesis]. IMT-MINES ALES-IMT-Mines Alès Ecole Mines-Télécom, Université Abdou Moumouni, (2021) 218 p.
- [4] - A. ADJAGODO, N. C. KELOME, E. W VISSIN et E. AGBOSSOU, Pollution Physique Et Bactériologique De L'eau Du Fleuve Dans La Basse Vallée De L'Ouéme Pendant Les Périodes De Basses Et Hautes Eaux Au Bénin. *European Scientific Journal*, 13 (33) (2017) 167 - 186
- [5] - G. L. DJOHY et A. H. EDJA, Effet de la variabilité climatique sur les ressources en eau et stratégies d'adaptation des éleveurs et maraîchers au Nord-Bénin. *Annales de l'Université de Parakou Série «Sciences Naturelles et Agronomie»*, 8 (2) (2018) 83 - 91
- [6] - F. H. AIKPO, Y. A. DEGUENON, L. AGBANDJI, C. S. HOUSSOU et P. A. EDORH, Étude de la variation de la teneur en résidus de pesticides dans l'eau et les tilapias (*Tilapia guineensis*) du fleuve Couffo dans le bassin cotonnier de la commune de Djidja, Bénin. *Afrique SCIENCE*, 13 (6) (2017) 87 - 96
- [7] - C. KOUGBLENOU, S. AZONBAKIN, M. ACCROMBESSI, B. AGUEMON, M. ADJAGBA, B. AWEDE, M. P. AINA, R. B. DARBOUX et A. LALEYE, Evaluation du risque de génotoxicité de l'eau de la rivière Okpara à Kika au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12 (3) (2018) 1298 - 1308
- [8] - Z. ZHANG, J. LI, P. ZHU, H. ZHAO and G. LIU, Modeling multi-turn conversation with deep utterance aggregation. In Proceedings of the 27th International Conference on Computational Linguistics, Santa Fe, New Mexico, USA. Association for Computational Linguistics, (2018) 3740 - 3752
- [9] - K. E. AGBOSSOU, M. S. SANNY, B. ZOKPODO, B. AHAMIDE et H. J. GUEDEGBE, Evaluation qualitative de quelques légumes sur le périmètre maraîcher de Houéyiho, à Cotonou au sud-Bénin. *Bulletin de la recherche agronomique du Bénin*, 42 (42) (2003) 1 - 12
- [10] - P. DAGNELIE, Statistiques théoriques et appliquées. Tome 1: Statistique descriptive et bases de l'inférence statistique. *De Boeck et Larcier. Belgique*, (1998)
- [11] - INSAE (Institut National de la Statistique et de l'Analyse Économique), "Effectifs de la population des villages et quartiers de ville du Bénin (RGPH-4)". Cotonou, Bénin, (2016) 85 p.

- [12] - J. DEHOTIN et P. BREIL, Rapport technique du projet IRIP : *Cartographie de l'aléa ruissellement* [PhD Thesis]. *irstea*, (2011) 76 p.
- [13] - J. MOLENAT, J. M. DORIOZ, C. GASCUEL et G. GRUAU, Les voies de transfert : Circulations de l'eau et des polluants dans les bassins versants sur socle. Université de Rennes, 1, Territ'Eau, Agro-Transfert Bretagne, (2009) 9 p.
- [14] - D. C. ADJAHOUINO, B. YEHOUENOU, M. N. LIADY et E. D. FIOGBE, Caractérisation bactériologique des eaux résiduaires brutes de la ville de Cotonou (Bénin). *Journal of Applied Biosciences*, 78 (1) (2014) 6705 - 6713
- [15] - J. ALBERGEL, Y. PEPIN, S. NASRI et M. BOUFAROUA, *Erosion et transport solide dans des petits bassins versants méditerranéens*. *IAHS PUBLICATION*, (2003) 373 - 379
- [16] - K. DOPPLER, S. EBERT, N. ÜÇEYLER, C. TRENKWALDER, J. EBENTHEUER, J. VOLKMANN and C. SOMMER, *Cutaneous neuropathy in Parkinson's disease : A window into brain pathology*. *Acta neuropathologica*, 128 (2014) 99 - 109
- [17] - A.-I. GOUDA, Analyse des risques environnementaux liés aux pratiques phytosanitaires dans les écosystèmes aquatiques du bassin cotonnier (Nord Bénin) [PhD Thesis]. *Université de Liège, Gembloux, Belgique*, (2018) 221 p.
- [18] - J. P. MEHOUNOU, R. G. JOSSE, P. DOSSOU-YOVO, S. F. SENOU et R. M. TOKLO, Caractérisation physico-chimique et microbiologique des eaux souterraines et superficielles dans la zone de production cotonnière d'Aplahoué. *Journal of Applied Biosciences*, 103 (2016) 9841 - 9853
- [19] - J. HOUNKPE, N. KELOME, R. LAWANI and A. ADECHINA, *STATUS OF AQUATIC ECOSYSTEM POLLUTION IN BENIN (WEST AFRICA)*. *LARHYSS Journal*, 30 (2017) 149 - 171
- [20] - F. COLIN, Approche spatiale de la pollution chronique des eaux de surface par les produits phytosanitaires. Cas de l'atrazine dans le bassin versant du Sousson (Gers, France) [PhD Thesis]. Doctorat Sciences de l'Eau, *ENGREF Montpellier*, (2000) 255 p.
- [21] - C. DEGBEY, M. MAKOUTODE, B. FAYOMI et C. DE BROUWER, La qualité de l'eau de boisson en milieu professionnel à Godomey en 2009 au Bénin Afrique de l'Ouest. *J Int Santé Trav*, 1 (2010) 15 - 22
- [22] - N. CARLUER, C. LAUVERNET, D. NOLL and R. MUÑOZ-CARPENA, Defining context-specific scenarios to design vegetated buffer zones that limit pesticide transfer via surface runoff. *Science of the Total Environment*, 575 (2017) 701 - 712
- [23] - K. E. AHOUSI, Y. B. KOFFI, A. M. KOUASSI, G. SORO, N. SORO et J. BIEMI, Étude des caractéristiques chimiques et microbiologiques des ressources en eau du bassin versant du N'zi : Cas de la commune de N'zianouan (Sud de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6 (4) (2012) 1854 - 1873
- [24] - R. C. ELLIS and A.M. GRALEY, *Gains and losses in soil nutrients associated with harvesting and burning eucalyptus rainforest*. *Plant and Soil*, 74 (1983) 437 - 450 p.
- [25] - I. B. MOUSSA A, CHAHLAQUI et E. ROUR, Qualité de la source Ain Ammar et effet du déversement de ses eaux sur la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de l'Oued Khoumane, Maroc. *Afrique Science*, 7 (2) (2011) 115 - 130