International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 48 No. 1 Mar. 2026, pp. 213-222
© 2026 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

# Contamination des sols et risque écotoxicologique associés aux herbicides en zones céréalières de l'Ouest du Burkina Faso

# [ Soil contamination and ecotoxicological risk associated with herbicides in cereal-growing areas of western Burkina Faso ]

***Bazoma Bayili[1], Koama Bayili[2], Bernard Koursangama[3], Tédébouaouga Bazongo[4], Hyacinthe Dipina Ki[4], Bazoumana Sow[4], Roch Kounbobr Dabire[4], and Abdoulaye Diabate[4]***

[1]Programme Aménagement et Suivi des Ecosystème, Département Environnement et Forêts, Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, Centre National de Recherche Scientifique et Technologique (INERA, CNRST), Burkina Faso

[2]Centre Universitaire de Banfora, Université Nazi Boni (CUB, UNB), Burkina Faso

[3]Laboratoire de Recherche et d'Enseignement en Santé et Biotechnologies Animales (LARESBA), Ecole Doctorale-Sciences Naturelles et Agronomies, Université Nazi Boni, Burkina Faso

[4]Unité de Recherche Paludisme et Maladies Tropicales Négligées, Département de Biologie Médicale et Santé Publique, Institut de Recherche en Sciences de la Santé, Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (IRSS, CNRST) Burkina Faso

Copyright © 2026 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** Rising herbicide use in the cereal-growing zones of western Burkina Faso has raised concerns about soil contamination and associated ecotoxicological risks. This study assesses soil contamination by thirteen herbicides commonly used in cereal cultivation across twelve localities in four regions of western Burkina Faso during a single agricultural season. Soil samples were collected in two phases: the first during herbicide applications and the second three months later. Residues were extracted using an adapted QuEChERS method and quantified by high-performance liquid chromatography (HPLC). Results indicate spatiotemporally heterogeneous contamination, with maximum concentrations reaching 6,967 µg/kg for nicosulfuron and 1,027 µg/kg for mesotrione. Comparison with maximum allowable concentrations / predicted no-effect concentrations for soil (MAC/PNEC_soil) shows notable exceedances by factors of 10–700—signaling high risk for soil organisms and sensitive crops. Certain compounds, such as atrazine, terbuthylazine and bensulfuron-methyl, exhibit high persistence, whereas others, including nicosulfuron and prometryn, dissipate more rapidly. These findings underscore the urgency of tighter stewardship of phytosanitary practices, the implementation of sustainable management measures, and the integration of international benchmark thresholds into agricultural soil monitoring frameworks.

**KEYWORDS:** Herbicide residues; soil contamination; MAC/PNEC_soil; cereal agroecosystems; Burkina Faso.

**RESUME:** L'augmentation de l'utilisation des herbicides dans les zones céréalières de l'Ouest du Burkina Faso suscite des inquiétudes quant à la contamination des sols et aux risques écotoxicologiques associés. La présente étude évalue le niveau de contamination des sols par treize herbicides couramment utilisés en culture céréalière dans douze localités réparties dans quatre régions de l'Ouest du Burkina Faso au cours d'une campagne agricole. Des échantillons de sol ont été prélevés en deux phases: la première pendant les applications d'herbicides, et la seconde trois mois après. L'extraction des résidus a été réalisée selon une méthode adaptée de QuEChERS, suivie d'une analyse par chromatographie liquide à haute performance (HPLC). Les résultats révèlent une contamination hétérogène dans l'espace et dans le temps, avec des concentrations maximales

**Corresponding Author:** Tédébouaouga Bazongo

atteignant 6967 µg/kg pour le nicosulfuron et 1027 µg/kg pour le mésotrione. La comparaison avec les concentrations maximales admises (CMA/PNEC_sol) montre des dépassements notables, parfois supérieurs de 10 à 700 fois les valeurs de référence, traduisant un risque élevé pour les organismes du sol et les cultures sensibles. Certaines molécules, telles que l'atrazine, la terbuthylazine et le bensulfuron-méthyle, présentent une forte persistance, tandis que d'autres, comme le nicosulfuron et la prométryne, disparaissent plus rapidement. Ces résultats soulignent l'urgence d'un encadrement plus rigoureux des pratiques phytosanitaires, la mise en place de mesures de gestion durable et l'intégration des seuils de référence internationaux dans les dispositifs de surveillance des sols agricoles.

**MOTS-CLEFS:** Résidus d'herbicides, contamination des sols, CMA/PNEC_sol, agroécosystèmes céréaliers, Burkina Faso.

## 1 INTRODUCTION

La production agricole dans les régions tropicales, notamment en Afrique de l'Ouest, est confrontée à de nombreux défis, parmi lesquels les bioagresseurs responsables de pertes de rendement pouvant atteindre 40 % par an [1]. Pour faire face à ces pertes, les agriculteurs ont recours massivement aux pesticides chimiques de synthèse, dont l'utilisation est en constante augmentation dans les systèmes agricoles intensifs [2].

Dans les zones céréalières, notamment à l'ouest du Burkina Faso, les herbicides représentent la principale catégorie de pesticides utilisée, en raison de leur efficacité dans la lutte contre les adventices et de leur capacité à compenser la pénurie de main-d'œuvre agricole ainsi que le coût élevé du désherbage mécanique [3], [4].

Cette dépendance croissante aux herbicides se traduit par une importation massive de ces produits, qui constituent désormais la majorité des produits phytosanitaires utilisés au Burkina Faso [5]. Toutefois, l'utilisation intensive et souvent inappropriée de ces produits soulève des préoccupations environnementales majeures [6], [7], [8], [9]. Plusieurs études ont documenté les mauvaises pratiques agricoles dans l'application de ces produits, notamment la gestion inadéquate des emballages, la préparation non contrôlée de la bouillie, les mélanges de produits, ou encore le non-respect des doses et fréquences d'application recommandées [10], [11]. Ces pratiques augmentent considérablement le risque de contamination des sols.

Par ailleurs, les propriétés physico-chimiques des substances actives contenues dans les herbicides, notamment leur persistance et leur mobilité dans le sol, accentuent leur impact écologique [12], [13]. On estime que plus de 99 % des pesticides appliqués peuvent entrer en contact avec les compartiments environnementaux, en particulier les sols et les eaux, en raison de la dérive, du ruissellement ou de la lixiviation [14]. Cette situation est d'autant plus préoccupante dans le cas des herbicides dont la rémanence est souvent élevée, favorisant leur accumulation dans les sols au-delà des seuils de tolérance environnementale [15], [16].

Malgré l'ampleur de leur utilisation, les données sur la contamination des sols par les herbicides au Burkina Faso restent extrêmement limitées. Les rares études disponibles se concentrent essentiellement sur les résidus de pesticides dans les cultures de coton, incluant généralement les insecticides et les fongicides [17], [18], [19]. Il existe donc un déficit de connaissances scientifiques concernant l'évaluation spécifique des résidus d'herbicides dans les agroécosystèmes céréaliers, qui sont pourtant caractérisés par des régimes phytosanitaires très distincts et dominés par ces substances [11], [20].

En outre, les caractéristiques environnementales locales, telles que le type de sol, le climat et les pratiques culturales, influencent la dynamique des résidus d'herbicides, ce qui justifie l'importance de données localisées et contextualisées [21], [22].

Dans ce contexte, la présente étude vise à évaluer le niveau de contamination des sols par les herbicides utilisés dans les zones de production céréalière de l'ouest du Burkina Faso.

## 2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 2.1 SITES DE L'ÉTUDE

L'étude a été menée dans l'ouest du Burkina Faso, plus précisément dans les régions de Guiriko (ex Hauts-Bassins), de Bankui (ex Boucle du Mouhoun), de Tannounyan (ex Cascades) et du Djôrô (ex Sud-Ouest). Ces régions se caractérisent par une utilisation massive de pesticides, en particulier des herbicides, pour accroître la production céréalière et les cultures de rente [23]. Trois localités ont été sélectionnées dans chaque région pour les prélèvements de sol dans les champs céréaliers

(figure 1). Les analyses de résidus d'herbicides ont été réalisées à l'Agence nationale pour la sécurité sanitaire de l'environnement, de l'alimentation, du travail et des produits de santé (ANSSEAT) à Ouagadougou.

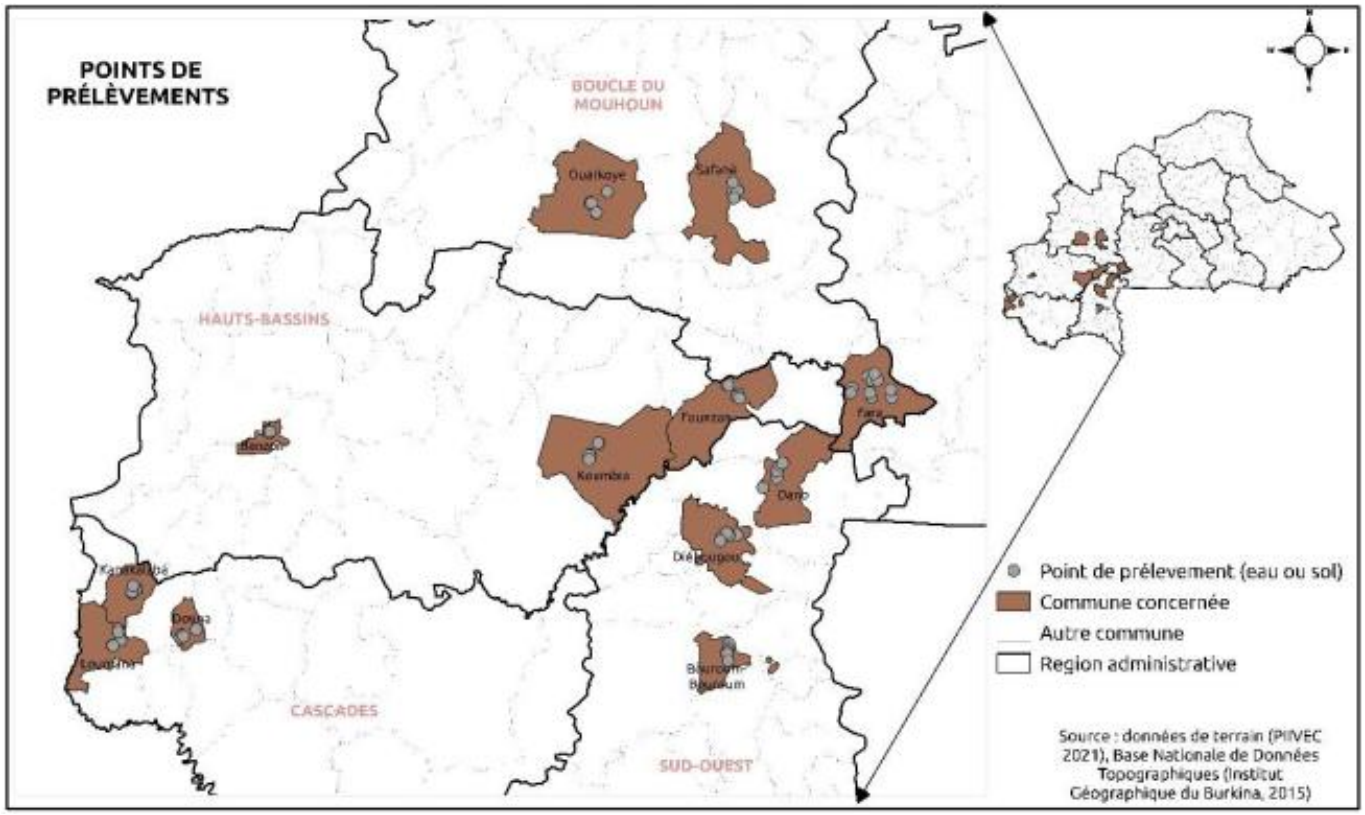



***Fig. 1. Carte indiquant la localisation des sites d'étude***

### 2.2 PRÉLÈVEMENT DES ÉCHANTILLONS

Le prélèvement des échantillons a été réalisé en deux phases: la première dans la troisième semaine du mois d'août 2020, puis la deuxième en mi-novembre de la même année dans les mêmes champs. Cinq champs céréaliers ont été concernés par le prélèvement dans chacune des 12 localités. Les sols ont été prélevés à l'intérieur des champs. Dans chaque champ, cinq carottes de sol ont été prélevées à l'aide d'une tarière, soit dans les quatre angles du champ et au milieu. La profondeur de prélèvement était d'environ 20 cm. Ces carottes ont ensuite été rassemblées et homogénéisées dans une bassine propre. L'échantillon représentatif du site a été prélevé dans l'homogénat à l'aide d'une truelle, puis conditionné dans un sac en polyéthylène (20 x 30 cm) adapté, fermé à l'aide d'une agrafeuse et étiqueté. Ces échantillons ont été rangés dans des emballages en polyéthylène noir et transportés à l'abri du soleil jusqu'au laboratoire où ils ont été conservés à -18 °C avant les analyses.

Pour chaque localité, les cinq échantillons moyens des cinq champs prélevés ont été homogénéisés au laboratoire afin de retenir un seul échantillon analyte.

### 2.3 DOSAGE DES RÉSIDUS D'HERBICIDES

#### 2.3.1 MOLÉCULES D'HERBICIDES

Les molécules recherchées sont issues de la liste des matières actives recensées lors de l'étude sur les pratiques d'utilisation des herbicides dans les agrosystèmes céréaliers à l'ouest du Burkina Faso [11]. Sur les 25 matières actives recensées, seulement 13 ont été dosées. C'étaient les normes analytiques de ces 13 qui étaient disponibles au laboratoire et dont le matériel permettait d'appliquer les méthodes de dosage.

#### PRÉPARATION DES STANDARDS ANALYTIQUES

La méthode d'étalonnage externe à l'aide d'une droite a été utilisée. Pour ce faire, 25 mg de chaque standard avec une pureté de 99,98 % ont été introduits dans une fiole jaugée de 25 mL, puis le volume a été complété au trait de jauge avec de l'acétonitrile. L'ensemble a été agité et homogénéisé par ultrasons. Les solutions obtenues représentent les solutions mères de chaque standard. À partir de chaque solution mère, six solutions secondaires de concentrations 5 ppm, 2,5 ppm, 1,25 ppm, 0,625 ppm, 0,3125 ppm et 0,15625 ppm ont été préparées et injectées afin de construire la droite d'étalonnage. Elle a été obtenue à l'aide de la courbe d'étalonnage aire = f (concentration) des six points de chaque standard après injection.

#### EXTRACTION

La technique d'extraction a été adaptée de la méthode QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe) décrite par [24], [25]. Cette méthode simple, rapide, et idéale pour l'analyse multi-résidus de pesticides a été validée par la norme européenne EN 15662. La variante de la méthode QuEChERS utilisée est celle validée par la norme européenne EN 15662. En effet, un kit de sels constitué de 1 g de citrate trisodique déshydraté, 0,5 g de citrate disodique sesquihydraté, 1 g de chlorure de sodium (NaCl) et 4 g de sulfate de magnésium anhydre ($MgSO_4$) a été utilisé pour optimiser l'extraction (kit d'extraction). Un kit constitué de 0,15 g d'amine primaire et secondaire (PSA) et de 0,9 g de sulfate de magnésium (MgSO4) a été utilisé pour optimiser la purification (kit de purification).

Une extraction solide/liquide a été réalisée sous une hotte en mélangeant 5 g de chaque sol avec 10 mL d'eau ultrapure, 10 mL d'acétonitrile et un kit d'extraction dans un tube à centrifuger de 50 mL. Ils ont été ensuite agités vigoureusement pendant une minute à l'aide d'un agitateur vortex, avant d'être centrifugés à 3 000 tr/min pendant 5 minutes.

#### PURIFICATION ET CONCENTRATION

Elle a consisté à introduire 6 mL du surnageant organique dans un tube à centrifuger de 15 mL contenant un kit de purification constitué de 0,15 g d'amine primaire et secondaire (PSA) et de 0,9 g de sulfate de magnésium (MgSO4). L'ensemble a été agité vigoureusement pendant une minute à l'aide d'un agitateur vortex, puis centrifugé à 3 000 tr/min pendant 5 minutes. Pour concentrer l'extrait purifié, une aliquote de 5 mL du surnageant a été introduite dans un tube à hémolyse, puis évaporée à sec par un évaporateur sous flux d'azote. L'échantillon est ensuite récupéré avec 50 µL d'acétonitrile de grade HPLC et mis en vials pour le dosage multi-résidus.

#### ANALYSE CHROMATOGRAPHIQUE

Le dosage des résidus a été effectué au moyen d'un chromatographe HPLC-UV (Agilent 1100 séries) équipé de quatre pompes à solvant, couplé à un détecteur UV à barrette de diode (DAD) et à un injecteur automatique. L'ensemble est contrôlé par un ordinateur complet muni du logiciel d'exploitation et d'acquisition des données Chemstation version 32. Le volume d'injection a été de 10 µL et une colonne à phase inverse C18 (4,6 x 450 mm) de marque ZORBAX® a été utilisée. La température de la colonne a été maintenue à 34 °C. L'élution a été effectuée en mode isocratique avec une phase mobile constituée d'un mélange d'acétonitrile et d'eau ultrapure en volume égal. Le débit de la phase mobile était de 1 $ml.min^{-1}$. Avant leur quantification, les molécules détectées ont été identifiées grâce à leur temps de rétention et confirmées par comparaison de leur spectre UV à celui des standards correspondants.

### 2.3.2 FORMULE DE CALCUL

Pour augmenter la probabilité de détection des pesticides à l'état de traces, les extraits ont été concentrés. En effet, 5 ml de chaque extrait a été concentrée à 50 µl, ce qui correspond à un facteur de concentration f = 100. De plus, l'ordinateur a présenté les résultats en µg/µl de volume d'extrait alors que les prises d'essai étaient de 5 g de sol.

La teneur finale T (exprimée en µg/kg) est obtenue à partir de la teneur mesurée par l'appareil Tm (en ng/µL), puis corrigée pour tenir compte du volume de solvant utilisé pour l'extraction Vs (10 mL), du facteur de concentration f (100) et de la prise d'essai PE (5 g). Le facteur 1000 sert à convertir les unités afin d'exprimer le résultat final en µg/kg. Ainsi, la valeur fournie par la machine est convertie et ramenée à la masse d'échantillon analysée pour donner la teneur T.

## 3 RÉSULTATS

Les concentrations de résidus d'herbicides mesurées lors des prélèvements sont présentées dans le tableau 1. Au total, treize molécules ont été analysées. Elles ont été toutes détectées dans les échantillons de la première phase de prélèvement au moins une fois. En revanche, seules sept molécules ont été retrouvées dans les échantillons de la seconde phase de prélèvement c'est-à-dire trois mois plus tard.

Les herbicides les plus détectés au cours de la première phase étaient l'atrazine, le bensulfuron-méthyle, l'haloxyfop-R-méthyle, la pendiméthaline et l'emamectin benzoate, chacun ayant été identifié dans au moins trois localités. Durant la seconde phase, les molécules les plus retrouvées étaient l'atrazine, la terbuthylazine, l'haloxyfop-R-méthyle, le mésotrione et le 2,4-D, toutes présentes dans au moins trois localités.

L'atrazine a été détectée dans cinq localités lors de la première phase (0,02 µg/Kg à 12,38 µg/Kg), puis dans neuf autres lors de la seconde, avec une concentration maximale de 15,22 µg/kg à Ouarkoye. La terbuthylazine a été initialement détectée dans une localité, soit à Founzan à une concentration de 844,91 µg/kg. Trois mois plus tard, elle était présente dans trois localités: Douna, Ouarkoye et Safané à des concentrations allant de 12,89 µg/Kg à 126,06 µg/Kg. Lors de la première phase, la mesotrione a atteint une concentration exceptionnelle de 1027,36 µg/kg à Safané. Bien qu'elle ait été détectée durant la seconde phase, ses concentrations ont fortement diminué avec une concentration maximale de 41,96 µg/kg à Safané. Le nicosulfuron a été observé à des niveaux très élevés (> 6 600 µg/kg) dans deux localités (Douna et Ouarkoye) lors de la première phase, mais n'a pas été détecté lors de la seconde.

Le diuron, détecté uniquement à Kankalaba lors de la première phase (10,67 µg/kg), n'a pas été retrouvé trois mois plus tard. À l'inverse, le 2,4-D, initialement détecté uniquement à Dano (0,27 µg/kg), a été retrouvé dans quatre localités lors de la seconde phase, avec une concentration maximale de 4,30 µg/kg à Dano. Enfin, plusieurs molécules présentes uniquement lors de la première phase n'ont pas été détectées lors de la seconde: le diuron, le métolachlore, le nicosulfuron, la prométryne, l'emamectin benzoate et le bispyribac-sodium.

Le tableau 2 compare les concentrations maximales mesurées avec les valeurs de référence (CMA/PNEC_sol). Le nicosulfuron (6967 µg/kg) et le mésotrione (1027 µg/kg) dépassent respectivement d'environ 700 et 10 fois les valeurs de référence. La terbuthylazine (845 µg/kg), l'emamectin benzoate (833 µg/kg), la prométryne (595 µg/kg) et le bensulfuron-méthyle (53 µg/kg) excèdent également les seuils admis de manière significative. À l'inverse, les concentrations d'herbicides tels que l'atrazine, le diuron, la pendiméthaline, le 2,4-D et le métolachlore demeurent proches ou en dessous des valeurs de référence.

***Tableau 1. Teneur (µg/Kg) des 13 molécules dosées dans les échantillons de sol des différentes localités (P1 et P2)***

| Molécules recherchées | Douna | | Kankalaba | | Loumana | | Koumbia | | Founzan | | Banzon | | Ouarkoye | | Safané | | Fara | | Dano | | Diébougou | | Bouroum Bouroum | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | P1 | P2 | P1 | P2 | P1 | P2 | P1 | P2 | P1 | P2 | P1 | P2 | P1 | P2 | P1 | P2 | P1 | P2 | P1 | P2 | P1 | P2 | P1 | P2 |
| Atrazine | 0,03 | 1,8 | 1,52 | 0,07 | 0,27 | - | - | - | - | - | - | 0,26 | - | 15,22 | 12,38 | 0,6 | - | 0,46 | 0,02 | 0,11 | - | 0,81 | - | 0,46 |
| Diuron | - | - | 10,67 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Bensulfuron-méthyle | 14,01 | 23,54 | - | - | - | - | - | - | 52,81 | - | - | - | - | - | - | - | - | 11,27 | 38,01 | - | 50,77 | - | - | - |
| Terbuthylazine | - | 31,06 | 42,08 | - | - | - | - | - | 844,91 | - | - | - | - | 126,08 | - | 12,89 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Haloxyfop-R-méthyle | - | - | 36,26 | - | - | - | - | 0,80 | - | 0,019 | - | 0,082 | 0,88 | - | 4,5 | - | 0,57 | - | - | 0,52 | - | - | - | - |
| Mésotrione | - | - | - | 39,21 | - | - | - | 2,27 | - | 0,60 | - | 4,48 | 30,75 | - | 1027,36 | 41,96 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Pendiméthaline | - | - | 10,25 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,077 | 1,04 | - | - | - | 0,91 | - | - | - | - | 0,76 | - | - |
| Métolachlore | - | - | 4,1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2,4-D | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,81 | - | - | - | 1,82 | 0,27 | 4,30 | - | - | - | 4,05 |
| Nicosulfuron | 6681,15 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 6966,80 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Prométryne | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 595,07 | - | - | - | - | - |
| Emamectin benzoate | 767,61 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 832,57 | - | - | - | 21,61 | - | - | - | - | - |
| Byspiribac-sodium | | | | | 32,11 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | 27,46 | - | - | | - | | - | |

*(-): non déterminé*

*Tableau 2. Concentrations maximales mesurées (Concentration maximale mesurée) par rapport aux valeurs de référence (CMA/PNEC_sol)*

| Molécule | Concentration maximale mesurée (µg/kg) | Valeurs de référence sol (CMA/PNEC_sol*) | Rapport C/CMA |
|---|---|---|---|
| Nicosulfuron | 6967 | PNEC_sol ≈ 10 µg/kg | ~700× |
| Mésotrione | 1027 | PNEC_sol ≈ 100 µg/kg | ~10× |
| Terbuthylazine | 845 | CMA sol (MPC NL) ≈ 50 µg/kg | ~17× |
| Emamectin benzoate | 833 | PNEC_sol ≈ 200 µg/kg | ~4× |
| Prométryne | 595 | CMA sol ≈ 100 µg/kg | ~6× |
| Bensulfuron-méthyle | 53 | PNEC_sol ≈ 5 µg/kg | ~10× |
| Haloxyfop-R-méthyle | 36 | PNEC_sol ≈ 100 µg/kg | <1× |
| Bispyribac-sodium | 32 | Référence EPA cPAD 100 µg/kg/j | – |
| Atrazine | 15 | CMA sol (MPC NL) ≈ 20 µg/kg | ~0,7× |
| Diuron | 11 | CMA sol (MPC NL) ≈ 20 µg/kg | ~0,5× |
| Pendiméthaline | 10 | PNEC_sol ≈ 50 µg/kg | ~0,2× |
| 2,4-D | 4,3 | PNEC_sol ≈ 100 µg/kg | <0,1× |
| Métolachlore | 4,1 | PNEC_sol ≈ 50 µg/kg | ~0,1× |

**Sources: RIVM (MPC/SRCeco), EFSA PNEC_sol, CCME guidelines*

PNEC = Predicted No-Effect Concentration (sol); MPC/SRCeco = Maximum Permissible Concentration/ Serious Risk Concentration for ecosystems; C/CMA = rapport Concentration mesurée / Concentration Maximale Admissible; EPA cPAD = Environmental Protection Agency chronic Population-Adjusted Dose; MPC NL = Maximum Permissible Concentration Netherlands; RIVM = National Institute for Public Health and the Environment – Pays-Bas; EFSA = European Food Safety Authority; CCME = Canadian Council of Ministers of the Environment.

## 4 DISCUSSION

L'analyse multi-résidus des sols agricoles de l'Ouest du Burkina Faso met en évidence une contamination diffuse mais spatialement hétérogène par les herbicides, avec des différences marquées entre localités. Les sites de Douna, Ouarkoye, Founzan et Safané se distinguent par des concentrations particulièrement élevées, tandis que d'autres substances n'ont été détectées que localement, confirmant les observations faites dans d'autres contextes par Šunjka et al. (2024) [26]. Cette hétérogénéité reflète à la fois la diversité des pratiques d'application, orientées selon les cultures et les mauvaises herbes ciblées [11], et les propriétés physico-chimiques des molécules qui conditionnent leur rémanence, leur mobilité et leur devenir [27].

Les triazines, notamment l'atrazine et la terbuthylazine, apparaissent comme les composés les plus persistants, détectés dans plusieurs localités même plusieurs mois après application. Leur faible biodégradabilité et leur forte affinité pour la matière organique du sol sont bien documentées [28], [29], [30]. Stipičević et al. (2015) [31] ont montré que la terbuthylazine pouvait persister jusqu'à 17 mois dans le sol, contre moins de 5 mois pour l'atrazine. Dans notre étude, les concentrations maximales atteignent 845 µg/kg, soit près de 17 fois la valeur de référence néerlandaise (≈50 µg/kg), indiquant un risque élevé de transfert vers les eaux souterraines [32].

Le mésotrione, bien que moins fréquemment rapporté dans les sols d'Afrique de l'Ouest [33], atteint des niveaux de 1027 µg/kg, soit dix fois sa PNEC_sol. Ses métabolites AMBA et MNBA, connus pour être plus toxiques que la molécule mère, représentent une menace pour la microflore du sol [34]. Des travaux antérieurs soulignent également une forte rémanence initiale suivie d'une décroissance rapide liée à la biodégradation ou au lessivage [35].

Le cas du nicosulfuron illustre une dynamique inverse: détecté à des niveaux extrêmement élevés lors du premier échantillonnage (près de 7 mg/kg, soit environ 700 fois la PNEC_sol pour les plantes non-cibles), il disparaît totalement lors du second, suggérant une dégradation rapide sous conditions pédoclimatiques favorables [36], [37], [38]. Ce comportement met en lumière un risque aigu de phytotoxicité pour les cultures en rotation à court terme [39], [40].

D'autres molécules comme le 2,4-D ont vu leur fréquence de détection augmentée entre les deux phases, passant d'une à quatre localités, traduisant soit un usage tardif en post-levée, soit une dispersion locale par ruissellement ou transport éolien. L'emamectin benzoate, quant à elle, atteint 833 µg/kg, excédant quatre fois la PNEC_sol estimée et représentant un danger

pour les invertébrés du sol et les arthropodes auxiliaires, malgré sa faible mobilité [41]. La prométryne affiche également des niveaux préoccupants (595 µg/kg), dépassant six fois les valeurs de référence et confirmant son potentiel d'impact chronique sur la microflore et la végétation non-cible [42].

En revanche, les concentrations d'atrazine, de diuron, de pendiméthaline, de 2,4-D et de métolachlore demeurent relativement faibles (<20 µg/kg), proches ou en dessous des seuils de référence [43]. Cela peut traduire un risque écotoxicologique limité, bien qu'un suivi reste nécessaire compte tenu de leur potentiel de transfert hydrique. La variabilité observée entre localités (ex. pics de terbuthylazine à Founzan ou de mésotrione à Safané) souligne l'importance des conditions édaphiques locales (perméabilité, activité microbienne) dans le devenir des herbicides.

Au-delà des teneurs ponctuelles, la détection simultanée de plusieurs molécules dans un même sol indique des expositions cumulatives, encore peu documentées dans les agroécosystèmes tropicaux. Ces mélanges peuvent perturber le microbiome du sol [44], altérer le cycle des nutriments ou l'activité des vers de terre [45] et induire des effets phytotoxiques sur les cultures suivantes, avec des implications directes pour la durabilité agricole et la sécurité alimentaire [46]. L'ensemble de ces constats plaide pour la mise en place d'une surveillance intégrée, la diversification des modes d'action et la réduction des usages excessifs afin de préserver la fertilité des sols et limiter les transferts vers les ressources en eau.

## 5 CONCLUSION

L'étude du niveau de contamination des sols dans la zone céréalière de l'Ouest du Burkina Faso met en évidence une pollution généralisée mais variable, avec treize substances actives identifiées au cours des deux phases de prélèvement. Parmi elles, l'atrazine, la terbuthylazine et le mésotrione se distinguent par leur persistance et leur prévalence élevées, tandis que d'autres molécules comme le nicosulfuron présentent des concentrations initialement très fortes suivies d'une disparition rapide. La comparaison des niveaux mesurés aux concentrations maximales admises (CMA/PNEC_sol) révèle des dépassements considérables, atteignant parfois 10 à 700 fois les valeurs de référence, traduisant un risque écotoxicologique préoccupant pour les organismes du sol et les cultures sensibles. Ces résultats soulignent l'impact environnemental potentiel des pratiques phytosanitaires actuelles, notamment en lien avec la rémanence de certaines molécules et le risque de transfert vers les milieux aquatiques. Ils appellent à une meilleure régulation de l'usage des herbicides, à la sensibilisation des producteurs et à l'intégration des seuils de référence internationaux dans les dispositifs nationaux d'évaluation et de surveillance, afin de concilier productivité agricole et protection des écosystèmes.

### REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les autorités administratives, coutumières et les producteurs de céréales des 12 localités pour leur collaboration. Ils remercient aussi le LNSP (actuel ANSSEAT) pour la plateforme d'analyse de pesticides mise à notre disposition.

### FINANCEMENT

Cette recherche n'a bénéficié d'aucune subvention spécifique de la part d'un organisme de financement. Les auteurs déclarent n'avoir aucune relation financière ou personnelle susceptible d'influencer de manière inappropriée les travaux rapportés dans cet article.

### CONFLITS D'INTÉRÊTS

Les auteurs déclarent aucun conflit d'intérêts.

### REFERENCES

[1] I. Mahmood, S. R. Imadi, K. Shazadi, A. Gul, and K. R. Hakeem, «Effects of Pesticides on Environment,» in *Plant, Soil and Microbes: Volume 1: Implications in Crop Science,* M. S. Akhtar and S. N. A. Abdullah, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2016, pp. 253–269. doi: 10.1007/978-3-319-27455-3_13.

[2] E. S. Bernhardt, E. J. Rosi, and M. O. Gessner, «Synthetic chemicals as agents of global change,» *Front. Ecol. Environ.,* vol. 15, no. 2, pp. 84–90, Mar. 2017, doi: 10.1002/fee.1450.

[3] L. P. Gianessi, «The increasing importance of herbicides in worldwide crop production,» *Pest Manag. Sci.,* vol. 69, no. 10, pp. 1099–1105, Oct. 2013, doi: 10.1002/ps.3598.

[4] J.-P. Olina Bassala, P. Dugué, A.-M. Granié, and M. Vunyingah, «Pratiques agricoles et perceptions paysannes de l'usage des herbicides dans les champs familiaux au Nord-Cameroun,» *Int. J. Adv. Stud. Res. Afr.,* 2015, Accessed: Dec. 31, 2025. [Online]. Available: https://agritrop.cirad.fr/579836/.

[5] MAAH, «Tableau de bord statistique de l'agriculture,» SP-CPSA. Accessed: Dec. 31, 2025. [Online]. Available: https://www.spcpsa.bf/download/tableau-de-bord-statistique-de-lagriculture-2018/.

[6] R. A. Almeida, P. Lemmens, L. De Meester, and K. I. Brans, «Differential local genetic adaptation to pesticide use in organic and conventional agriculture in an aquatic non-target species,» *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.,* vol. 288, no. 1963, Nov. 2021, doi: 10.1098/rspb.2021.1903.

[7] GRAAD, « (PDF) Coût des mauvaises pratiques dans l'usage des produits chimiques dans le secteur agricole,» ResearchGate. Accessed: Dec. 31, 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/379575744 Cout des mauvaises pratiques dans l'usage des produits chimiques dans le secteur agricole Koudougou.

[8] N. Ngameni, D. Brice, D. B. Nkontcheu Kenko, and E. Djomo Nana, «Évaluation des facteurs de risques environnementaux liés à la mauvaise utilisation des pesticides par les maraîchers au Cameroun : le cas de Balessing à l'Ouest Cameroun,» vol. 13, pp. 91–100, Jan. 2017.

[9] G. Soro, W. S. Amao, A. O. Adjiri, and N. Soro, «Risques sanitaires et environnementaux liés à l'usage des produits phytosanitaires dans l'horticulture à Azaguié (Sud Côte d'Ivoire),» *J. Appl. Biosci.,* vol. 138, pp. 14072–14081, Sep. 2019, doi: 10.4314/jab.v138i1.7.

[10] H. Compaore, S. Ilboudo, A. D. B. Nati, and M. M. B. Dama, «Les risques sanitaires lies a l'utilisation des pesticides dans les bas-fonds rizicoles de la commune de dano, Province du Ioba Burkina Faso,» *Afr. Crop Sci. J.,* vol. 27, no. 4, pp. 557–569, Nov. 2019, doi: 10.4314/acsj.v27i4.2.

[11] B. Bayili, B. Koursangama, K. Bayili, H. D. Ki, B Sow, E. Bilgo, A. A. Kinda, T. Bazongo, A. Ouattara, R. K. Dabire, A. Diabate, «Characterization of herbicide use practices in cereal agroecosystems in western Burkina Faso,» *J. Exp. Biol. Agric. Sci.,* vol. 12, no. 2, pp. 248–256, May 2024, doi: 10.18006/2024.12 (2).248.256.

[12] L. Padovani, «A calculation procedure to assess potential environmental risk of pesticides at the farm level,» *Ecol. Indic.,* Jan. 2004, doi: 10.1016/J.ECOLIND.2004.01.002.

[13] R. Calvet, Les pesticides dans le sol: conséquences agronomiques et environnementales. France Agricole Editions, 2005.

[14] H. M. G. van Der Werf, «Evaluer l'impact des pesticides sur l'environnement,» *Courr. Environ. INRA,* vol. 31, no. 31, pp. 5–22, Aug. 1997.

[15] R. Jeannot, B. Lemière, and S. Chiron, «Guide méthodologique pour l'analyse des sols pollués».

[16] A. P.K. Gomgnimbou, P. W. Savadogo, A. J. Nianogo, and J. Millogo-Rasolodimby, «Usage des intrants chimiques dans un agrosystème tropical : diagnostic du risque de pollution environnementale dans la région cotonnière de l'est du Burkina Faso,» *BASE,* Jan. 2009, Accessed: Dec. 31, 2025.
[Online]. Available: https://popups.uliege.be/1780-4507/index.php?id=4524.

[17] S. Paré, B. Kaboré, C. Stechert, M. Kolb, M. Bahadir, and L. Y. Bonzi-Coulibaly, «Agricultural Practice and Pesticide Residues in Soils and Pool Sediments from the Pendjari Biosphere Reserve Area in Benin, West Africa,» *CLEAN – Soil Air Water,* vol. 42, no. 11, pp. 1593–1603, Nov. 2014, doi: 10.1002/clen.201200371.

[18] N. Ondo Zue Abaga, P. Alibert, S. Dousset, P. W. Savadogo, M. Savadogo, and M. Sedogo, «Résidus d'insecticides dans les sols cotonniers du Burkina Faso et effets des insecticides sur l'asymétrie fluctuante chez les abeilles mellifères (*Apis mellifera* Linnaeus),» *Chemosphere,* vol. 83, no. 4, pp. 585–592, Apr. 2011, doi: 10.1016/j.chemosphere.2010.12.021.

[19] A. S. Hien, D. D. Soma, O. Hema, B. Bayili, M. Namountougou, O. Gnankine, T. Baldet, A. Diabate, K. R. Dabire, «Evidence that agricultural use of pesticides selects pyrethroid resistance within Anopheles gambiae sl populations from cotton growing areas in Burkina Faso, West Africa,» *PLoS One,* vol. 12, no. 3, p. e0173098, 2017.

[20] R. Kumar, P. K. Sharma, P. S. Slathia, and N. Sharma, «Pesticide Use in Cereals: An Analysis of Farmers' Perception and Knowledge in Jammu District,» *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.,* vol. 6, no. 10, pp. 2411–2419, Oct. 2017, doi: 10.20546/ijcmas.2017.610.284.

[21] C. Froger, C. Jolivet, H. Budzinski, M. Pierdet, G. Caria, N. P. A. Saby, D. Arrouays, A. Bispo, «Pesticide Residues in French Soils: Occurrence, Risks, and Persistence,» *Environ. Sci. Technol.,* vol. 57, no. 20, pp. 7818–7827, May 2023, doi: 10.1021/acs.est.2c09591.

[22] J. Colquhoun, «Herbicide persistence and carryover».

[23] A. M. Toe, M. Ouedraogo, R. Ouedraogo, S. Ilboudo, and P. I. Guissou, «Pilot study on agricultural pesticide poisoning in Burkina Faso,» *Interdiscip. Toxicol.,* vol. 6, no. 4, pp. 185–191, Dec. 2013, doi: 10.2478/intox-2013-0027.

[24] M. Anastassiades, S. J. Lehotay, D. Štajnbaher, and F. J. Schenck, «Fast and easy multiresidue method employing acetonitrile extraction/partitioning and 'dispersive solid-phase extraction' for the determination of pesticide residues in produce,» *J. AOAC Int.,* vol. 86, no. 2, pp. 412–431, 2003.

[25] J. Beaumont, S. Godin, N. Riem, and F. Lestremau, «Application de la methodologie quechers sur l'extraction des pesticides et des polybromodiphenylethers (pbde) dans les sediments», Accessed: Jan. 04, 2026. [Online]. Available: https://www.aquaref.fr/system/files/2012_IIB (9) _Quechers_V3_0.pdf

[26] D. Šunjka, M. Pucarević, S. Lazić, N. Stojić, L. Milošević, H. El Bilali, D. Bošković, S. Vuković, «Monitoring of Herbicide Residues in Agricultural Soils in Vojvodina Province (Northern Serbia),» *Land,* vol. 13, no. 9, Aug. 2024, doi: 10.3390/land13091347.

[27] A. D. Carter, «Herbicide movement in soils: principles, pathways and processes.,» *Weed Res.,* vol. 40, no. 1, p. 113, Feb. 2000, doi: 10.1046/j.1365-3180.2000.00157.x.

[28] J. Chang, W. Fang, L. Chen, P. Zhang, G. Zhang, H. Zhang, J. Liang, Q. Wang, W. Ma, «Toxicological effects, environmental behaviors and remediation technologies of herbicide atrazine in soil and sediment: A comprehensive review,» *Chemosphere,* vol. 307, p. 136006, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.136006.

[29] S. Rostami, S. Jafari, Z. Moeini, M. Jaskulak, L. Keshtgar, A. Badeenezhad, A. Azhdarpoor, M. Rostami, K. Zorena, M. Dehghani, «Current methods and technologies for degradation of atrazine in contaminated soil and water: A review,» *Environ. Technol. Innov.,* vol. 24, p. 102019, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.eti.2021.102019.

[30] S. Stipičević, G. Mendaš, M. Dvoršćak, S. Fingler, N. Galzina, and K. Barić, «Dissipation dynamics of terbuthylazine in soil during the maize growing season,» *Arch. Ind. Hyg. Toxicol.,* vol. 68, no. 4, pp. 336–342, Dec. 2017, doi: 10.1515/aiht-2017-68-3063.

[31] S. Stipičević, N. Galzina, N. Udiković-Kolić, T. Jurina, G. Mendaš, M. Dvoršćak, I. Petrić, K. Barić, V. Drevenkar, «Distribution of terbuthylazine and atrazine residues in crop-cultivated soil: The effect of herbicide application rate on herbicide persistence,» *Geoderma,* vol. 259–260, pp. 300–309, Dec. 2015, doi: 10.1016/j.geoderma.2015.06.018.

[32] N. D. Jablonowski, A. Schäffer, and P. Burauel, «Still present after all these years: persistence plus potential toxicity raise questions about the use of atrazine,» *Environ. Sci. Pollut. Res.,* vol. 18, no. 2, pp. 328–331, Feb. 2011, doi: 10.1007/s11356-010-0431-y.

[33] K. Georges and B. Mounkuy Cyprien, «Biological efficiency of mesotrione 480 g/l against sugar cane weeds (bidens pilosa, ageratum conyzoides, cyperus spp.), in burkina faso,» *Int. J. Agric. Environ. Bioresearch,* vol. 04, no. 05, pp. 01–15, 2019, doi: 10.35410/IJAEB.2019.4426.

[34] L. Carles, M. Joly, F. Bonnemoy, M. Leremboure, F. Donnadieu, I. Batisson, P. Besse-Hoggan, «Biodegradation and toxicity of a maize herbicide mixture: mesotrione, nicosulfuron and S-metolachlor,» *J. Hazard. Mater.,* vol. 354, pp. 42–53, Jul. 2018, doi: 10.1016/j.jhazmat.2018.04.045.

[35] L. Carles, M. Joly, and P. Joly, «Mesotrione Herbicide: Efficiency, Effects, and Fate in the Environment after 15 Years of Agricultural Use,» *CLEAN – Soil Air Water,* vol. 45, no. 9, p. 1700011, Sep. 2017, doi: 10.1002/clen.201700011.

[36] C. Ashburn Poppell, R. M. Hayes, and T. C. Mueller, «Dissipation of Nicosulfuron and Rimsulfuron in Surface Soil,» *J. Agric. Food Chem.,* vol. 50, no. 16, pp. 4581–4585, Jul. 2002, doi: 10.1021/jf020172a.

[37] Q. Wu, X. Chen, Y. Xu, and L. Han, «Dissipation and Residues of Nicosulfuron in Corn and Soil Under Field Conditions,» *Bull. Environ. Contam. Toxicol.,* vol. 85, no. 1, pp. 79–82, Jul. 2010, doi: 10.1007/s00128-010-0041-x.

[38] S. Mitrić, A. Sunulahpašić, D. Šunjka, S. Vuković, M. Žabić, S. Hamidović, B. Kelečević, «Dissipation dynamic of nicosulfuron in different types of agricultural soils,» *Plant Soil Environ.,* vol. 70, no. 4, pp. 245–251, Mar. 2024, doi: 10.17221/503/2023-PSE.

[39] D. Son, I. Somda, A. Legrève, and B. Schiffers, «Pratiques phytosanitaires des producteurs de tomates du Burkina Faso et risques pour la santé et l'environnement,» *Cah. Agric.,* vol. 26, no. 2, 2017, doi: 10.1051/cagri/2017010.

[40] EFSA, «Conclusion on the peer review of nicosulfuron Scientific Report 120, 1-91, 2007.».

[41] J. A. Lasota and R. A. Dybas, «Avermectins, a novel class of compounds: implications for use in arthropod pest control,» *Annu. Rev. Entomol.,* vol. 36, pp. 91–117, 1991, doi: 10.1146/annurev.en.36.010191.000515.

[42] J. Zhou, F. Hu, J. Jiao, M. Liu, and H. Li, «Effects of bacterial-feeding nematodes and prometryne-degrading bacteria on the dissipation of prometryne in contaminated soil,» *J. Soils Sediments,* vol. 12, no. 4, pp. 576–585, Apr. 2012, doi: 10.1007/s11368-012-0473-5.

[43] Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), «Canadian Soil Quality Guidelines (CSQG) for the Protection of Environmental and Human Health Summary Tables. Updated September, 2007. In Canadian Environmental Quality Guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), Winnipeg, 1-9. - References - Scientific Research Publishing.» Accessed: Dec. 31, 2025.
[Online]. Available: https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2728700.

[44] S. Ruuskanen, B. Fuchs, R. Nissinen, P. Puigbò, M. Rainio, K. Saikkonen, M. Helander, «Ecosystem consequences of herbicides: the role of microbiome,» *Trends Ecol. Evol.,* vol. 38, no. 1, pp. 35–43, Jan. 2023.
Doi: 10.1016/j.tree.2022.09.009.

[45] M. T. Rose, T. R. Cavagnaro, C. A. Scanlan, T. J. Rose, T. Vancov, S. Kimber, I. R. Kennedy, R. S. Kookana, L. V. Zwieten, «Impact of Herbicides on Soil Biology and Function,» in *Advances in Agronomy,* vol. 136, Academic Press, 2016, pp. 133–220. doi: 10.1016/bs.agron.2015.11.005.

[46] K Wang, Y Ren, X Pan, X Wu, J Xu, Y Zheng, F Dong, «Insights on persistent herbicides in cropland soils in northern China: Occurrence, ecological risks, and phytotoxicity to subsequent crops,» *J. Hazard. Mater.,* vol. 490, p. 137794, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.jhazmat.2025.137794.