

## Évaluation sur le terrain de l'application de marc de café pour l'amélioration de la croissance des cultures, la lutte contre les mauvaises herbes et l'amélioration des sols

**Koji Yamane, Mitsuaki Kono, Taiji Fukunaga, Kazuya Iwai, Rie Sekine, Yoshinori Watanabe & Morio Iijima**

**Pour citer cet article :** Koji Yamane, Mitsuaki Kono, Taiji Fukunaga, Kazuya Iwai, Rie Sekine, Yoshinori Watanabe & Morio Iijima (2014) Field Evaluation of Coffee Grounds Application for Crop Growth Enhancement, Weed Control, and Soil Improvement, Plant Production Science, 17:1, 93-102, DOI : [10.1626/pp.s.17.93](https://doi.org/10.1626/pp.s.17.93).

**Pour faire un lien vers cet article :** <https://doi.org/10.1626/pp.s.17.93>



© 2014 Crop Science Society of Japan



Publié en ligne : 03 Dec 2015.



Soumettez votre article à ce journal [↗](#)



Articles consultés :

15679



Voir les articles

connexes [↗](#)



Articles cités : 20 Voir les articles cités [↗](#)

Les conditions générales d'accès et d'utilisation peuvent être consultées à l'adresse suivante :  
<https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=tpps20>

# Évaluation sur le terrain de l'application de marc de café pour l'amélioration de la croissance des cultures, la lutte contre les mauvaises herbes et l'amélioration des sols

Koji Yamane<sup>1</sup>, Mitsuaki Kono<sup>1</sup>, Taiji Fukunaga<sup>2</sup>, Kazuya Iwai<sup>2</sup>, Rie Sekine<sup>3</sup>, Yoshinori Watanabe<sup>1</sup> et Morio Iijima<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Graduate School of Agriculture, Kinki University, Nara 631-8505, Japon ;

<sup>2</sup> Centre de recherche et de développement, UCC Ueshima Coffee Co. Ltd, Takatsuki 569-0036, Japon ;

<sup>3</sup> Bureau de l'assurance qualité, UCC Ueshima Coffee Co. Ltd, Kobe 650-8577, Japon

**Résumé :** L'utilisation du marc de café dans les champs cultivés a été évaluée en termes d'amélioration de la croissance des cultures, d'amélioration du sol et de lutte contre les mauvaises herbes au cours de quatre saisons de culture successives pendant deux ans. Six cultures d'été et trois cultures d'hiver ont été cultivées de juin 2009 à mai 2011. Au cours de la première saison de culture, la croissance de toutes les cultures d'engrais verts a été significativement inhibée par l'application de 10 kg m<sup>-2</sup> de marc de café. Cependant, les effets inhibiteurs ont spontanément diminué après la deuxième saison de culture (environ 12 mois plus tard), et la croissance de l'herbe de guinée, du sorgho et du tournesol était environ 2 fois plus élevée que celle du contrôle. L'application de fumier de cheval à raison de 10 kg m<sup>-2</sup> a permis d'atténuer efficacement les effets inhibiteurs, même en présence d'une forte concentration de marc de café. Bien que l'application de marc de café en couche supérieure à 16 kg m<sup>-2</sup> ait permis de lutter contre les mauvaises herbes, l'impact n'a été maintenu que pendant une demi-année. L'application de marc de café a effectivement augmenté les teneurs en carbone et en azote du sol et a réduit le rapport CN. Les effets de l'amendement du sol étaient significativement plus élevés en termes d'enrichissement en azote et d'amélioration du rapport CN par rapport à l'application de fumier de cheval. Ces résultats indiquent que le marc de café est utile pour améliorer la croissance des cultures à long terme, le contrôle des mauvaises herbes à court terme et l'amélioration du sol dans les champs agricoles en tenant compte des effets inhibiteurs sur la croissance des plantes pendant la moitié de l'année suivant l'application. L'utilisation agricole du marc de café a également été discutée en termes de périodes de jachère dans la rotation des cultures.

**Mots clés :** Rapport CN, marc de café, cultures d'engrais verts, fumier de cheval, amendement du sol, lutte contre les mauvaises herbes.

Le café est l'une des denrées agricoles les plus importantes au monde. Actuellement, environ un million de tonnes de café sont produites chaque année dans plus de 50 pays (ICO, 2011). La consommation de café a augmenté dans le monde entier et les résidus de café tels que la pulpe, la balle et le marc de café représentent plus de deux millions de tonnes par an (Pandey et al., 2000). Au Japon, la consommation de café prêt à boire en bouteilles, en paquets et en boîtes a considérablement augmenté ces dernières années (Morikawa et Saigusa, 2011). La quantité de marc de café, le résidu obtenu lors de la préparation du café prêt à boire, a également tendance à augmenter d'année en année. C'est pourquoi il est devenu important de mettre en place des stratégies peu coûteuses et efficaces pour recycler le marc de café.

Quelques tentatives ont déjà été faites pour utiliser le marc de café. Silva et al. (1998) ont rapporté que le marc de café est utilisé comme combustible dans les chaudières de l'industrie brésilienne du café soluble. Morikawa et Saigusa (2011) ont rapporté que l'application de marc de café en couche supérieure augmentait l'efficacité de l'irrigation.

dans les niveaux de Fe et de Zn des grains de riz parce que les résidus agissent comme des agents chélateurs de Fe et de Zn dans les sols. En outre, le marc de café contient plus de N et de K que les matières organiques courantes telles que le fumier de vache et le fumier de poulet (Pandey et al., 2000 ; Kasongo et al., 2011). Ces résultats suggèrent que le marc de café peut être utilisé à des fins énergétiques et agricoles. Cependant, le marc de café contient de l'acide chlorogénique qui inhibe la croissance des plantes (Pandey et al., 2000). Kitou et Yoshida (1997) ont examiné la croissance de 12 espèces végétales dans des

pots remplis de terre contenant du marc de café. Il en est ressorti que des concentrations élevées de marc de café inhibaient la croissance des plantes.

Les activités inhibitrices peuvent disparaître en compostant le marc de café. Cependant, Wakasawa et al. (1998a) ont rapporté que la croissance des plantes était inhibée même si le marc de café était composté pendant six mois. Dans le cas d'un mélange de marc de café et d'autres matières organiques telles que l'écorce (Wakasawa et al., 1998b), la période de compostage a été raccourcie et les effets inhibiteurs ont été réduits.

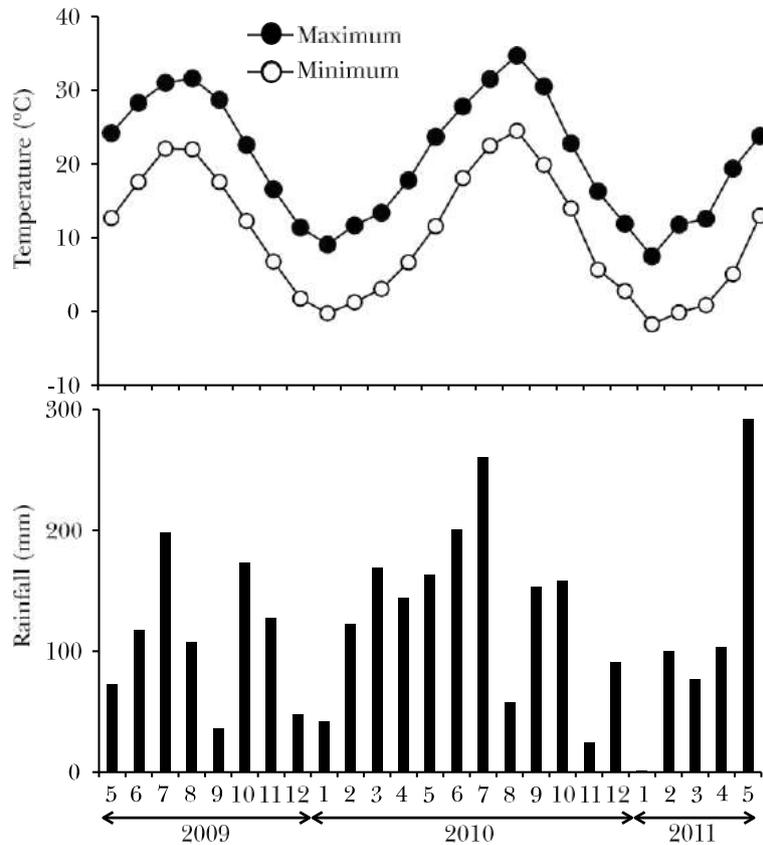


Fig. 1. Températures maximales et minimales mensuelles et précipitations sur le site expérimental, à Nara, au Japon, pendant la période expérimentale. Sources : Observatoire météorologique local de Nara.

ont disparu en l'espace de 3 mois. Ces résultats suggèrent que l'application mixte de marc de café et de matières organiques dans le sol est efficace pour atténuer les activités inhibitrices du marc de café. Cependant, les effets inhibiteurs sur la croissance des plantes ont été examinés en utilisant des liquides d'extraction du compost *in vitro* (Wakasawa et al., 1998a). Il n'existe pas d'étude de terrain à long terme sur la disponibilité de l'application mixte de matières organiques et de marc de café brut dans les champs. Un autre effet inhibiteur du marc de café est la réduction de la teneur en azote minéral du sol (Wakasawa et al., 1998a). Ainsi, les auteurs ont suggéré la nécessité d'une fertilisation azotée du sol de 15 à 20 g m<sup>-2</sup> lorsque 2,5 kg m<sup>-2</sup> de marc de café sont appliqués. Cependant, l'ajout d'azote provenant de fumier animal ou d'engrais inorganiques entraîne un potentiel élevé de lixiviation de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>N dans les champs (Dinnes et al., 2002). Gómez-López et del Amor (2013) ont démontré que l'utilisation de fumier de cheval pour l'apport d'azote donnait de meilleurs résultats pour minimiser les fuites de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et améliorer la croissance des plantes et le rendement du poivron par rapport au fumier de volaille ou de mouton. Par conséquent, nous avons émis l'hypothèse que l'application mixte de marc de café et de fumier de cheval dans les champs serait efficace pour diminuer les effets inhibiteurs du marc de

café et minimiser la pollution par le NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Même si la possibilité de contrôler les mauvaises herbes par l'application de

## L'impact et la stabilité de la lutte contre les mauvaises

herbes dans les champs n'ont pas encore été démontrés (par exemple, Kitou et Yoshida, 1997).

Les objectifs de la présente étude étaient d'étudier le potentiel du marc de café pour l'agriculture à travers une série d'expériences sur le terrain ; les effets inhibiteurs et/ou d'amélioration de la croissance pour différentes espèces de cultures d'engrais verts, les effets du mélange avec le fumier de cheval, la durée du contrôle des mauvaises herbes, et les effets d'amélioration du sol dans les champs agricoles.

### Matériels et méthodes

Les expériences ont été menées pendant deux ans dans la ferme expérimentale de l'université de Kinki à Nara, au Japon (latitude 34°40' N, longitude 135°43' E). La ferme expérimentale a été ouverte sur le flanc d'une colline de la forêt naturelle arbustive en 1988, et les mauvaises herbes telles que la berce du Caucase et le roseau commun ont poussé de manière grégaire jusqu'en 2007. En 2008, le site expérimental a été cultivé et a été ensemencé avec des cultures de premier été (luzerne, crotalaire, herbe de guinée, vesce velue, sorgho et tournesol), de deuxième été (sarrasin et sarrasin amer) et d'engrais vert d'hiver (orge, ray-grass italien, avoine et seigle). Un engrais chimique composé (N : P O<sub>25</sub> : K<sub>2</sub> O = 60 : 60 : 60 : kg ha<sup>-1</sup>) a été appliqué au sol.

Les cultures d'engrais verts ont été semées en mélange dans les champs et récoltées avant l'apparition des épis. Les résidus végétaux ont été incorporés au sol à l'aide d'un tracteur.

L'expérience a débuté au cours de la saison agricole 2009 et s'est poursuivie jusqu'en 2011. La température et les précipitations au cours de la période expérimentale sont indiquées dans la Fig. 1. Le sol de la ferme a été échantillonné le 29 mai 2009 avant les expériences. Le sol est classé comme un loam sablo-argileux (sable : limon : argile = 75,7 : 7,8 : 16,5) avec un pH (H<sub>2</sub>O) de 5,4, une conductivité électrique de 9,78 mS m<sup>-1</sup> ; C total, 5,4 g kg<sup>-1</sup> et N total, 0,5 g kg<sup>-1</sup>. Neuf cultures d'engrais vert, la luzerne (*Medicago sativa* L. cv Neotachiwakaba), la crotalaire (*Crotalaria juncea* L. cv Nekobu-killer), l'herbe de guinée (*Panicum maximum* Jacq. cv Natsukaze), la vesce velue (*Vicia villosa*, cv Mamesuke), le sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench, cv Metersuke), la vigne rouge (*Vicia villosa*, cv Mamesuke) et la vigne rouge (*Vicia villosa*) ont été cultivées dans la région.) Moench, cv Metersorugo), le tournesol (*Helianthus annuus* L. cv Ryokuhi himawari), l'avoine (*Avena sativa* L. cv Heiotsu), l'orge (*Hordeum vulgare* L. cv Wasedorinijyo) et le seigle (*Secale cereale* L. cv Haruichiban) ont été utilisés. Les cultures d'engrais verts d'été et d'hiver ont été cultivées pendant quatre saisons successives de juin 2009 à mai 2011. Les mêmes cultures d'engrais verts ont été utilisées au cours des troisième et quatrième saisons de culture (la deuxième année), et les expériences ont été menées de la même manière que la première année. Après la croissance des cultures d'engrais verts au cours de chaque saison de culture, les résidus de culture n'ont pas été incorporés dans le sol. Immédiatement après l'échantillonnage des pousses d'engrais verts dans chaque parcelle, le sol a été cultivé à la main jusqu'à une profondeur de 15 cm. La lutte contre les ravageurs et l'irrigation n'ont pas été effectuées et les mauvaises herbes ont été labourées manuellement une fois par mois pendant toute la durée de l'expérience.

Le marc de café a été fourni par UCC Ueshima Coffee Co., Ltd. comme matériel expérimental. Les teneurs en C et N totaux du marc de café étaient respectivement de 523 et 24 g kg<sup>-1</sup>, et la teneur en eau était de 65 %. Le marc de café a été épandu en surface et incorporé à une profondeur de 15 cm par labourage manuel en mai 2009. Le marc de café a été appliqué au sol uniquement avant l'ensemencement des cultures d'engrais verts d'été au cours de la première saison de culture. Aucune matière organique supplémentaire et aucun engrais chimique (fertilisation de base et fumure de surface) n'ont été apportés dans les sols au cours des expériences.

### 1. Comparaison des espèces de cultures d'engrais verts

Les effets du marc de café sur la croissance des plantes ont été analysés dans des champs. Au cours de

la première saison de culture, chaque graine de six cultures d'engrais verts d'été (luzerne, crotalaire, herbe de Guinée, vesce velue, sorgho et tournesol) a été épandue en surface dans chaque parcelle à un taux de 2,0, 2,0, 1,0, 6,0, 2,0 et 2,0 g m<sup>-2</sup>, respectivement, et incorporée manuellement le 10 juin 2009 (12 jours après l'incorporation du marc de café (DAI)). La taille de chaque parcelle était de 1 m × 2 m. Trois concentrations différentes de marc de café ont été utilisées : contrôle (0 kg m<sup>-2</sup>), faible (1 kg m<sup>-2</sup>) et forte (10 kg m<sup>-2</sup>).

$\text{m}^{-2}$ ). Cinquante-quatre parcelles (6 cultivars  $\times$  3 traitements  $\times$  3 répétitions) ont été disposées selon un plan en blocs aléatoires complets. La superficie totale du champ expérimental était de 7 m  $\times$  40 m (280  $\text{m}^2$ ). La pousse de la plante d'engrais vert de chaque parcelle a été échantillonnée et le poids frais a été mesuré le 25 août 2009 (88 DAI). Au cours de la deuxième campagne agricole, les semences de trois cultures d'engrais verts d'hiver (avoine, orge et seigle) ont été épandues en surface dans chaque parcelle à raison de 8,0, 10,0 et 8,0  $\text{g m}^{-2}$ , respectivement, et incorporées manuellement le 10 novembre 2009 (165 DAI). Cinquante-quatre parcelles (3 cultivars  $\times$  3 traitements  $\times$  6 répétitions) ont été disposées de la même manière que lors de la première campagne agricole. La pousse des plantes d'engrais vert de chaque parcelle a été échantillonnée et le poids frais a été mesuré le 18 mai 2010 (354 DAI). Au cours de la troisième campagne agricole, les cultures d'engrais verts d'été ont été semées le 10 juin 2010 (377 DAI) et récoltées le 27 septembre 2010 (486 DAI). Au cours de la quatrième campagne agricole, les cultures d'engrais verts d'hiver ont été semées le 6 novembre 2010 (526 DAI) et récoltées le 17 mai 2010 (486 DAI). 2011 (718 DAI).

## 2. Effets du marc de café mélangé au fumier de cheval

Le fumier de cheval fourni par le club d'équitation CRANE à Nara a été appliqué au sol contenant du marc de café comme matériau expérimental. Les teneurs en C et N totaux du fumier de cheval étaient respectivement de 390 et 10  $\text{g kg}^{-1}$ , et la teneur en eau était de 32%. Le fumier de cheval a été épandu en surface et incorporé à une profondeur de 15 cm par labourage manuel le même jour que l'incorporation du marc de café. Le marc de café et le fumier de cheval ont été apportés à trois niveaux dans chaque parcelle : contrôle (0  $\text{kg m}^{-2}$ ), faible (1  $\text{kg m}^{-2}$ ) et élevé (10  $\text{kg m}^{-2}$ ). Vingt-sept parcelles (9 combinaisons différentes  $\times$  3 répétitions) ont été disposées selon un plan en blocs aléatoires complets. La taille de chaque parcelle était de 1 m  $\times$  4 m, soit au total 17 m  $\times$  14 m (238  $\text{m}^2$ ). Au cours de la première saison de culture, la luzerne, la crotalaire, l'herbe de Guinée, la vesce velue, le sorgho et le tournesol ont été semés en mélange dans chaque parcelle à raison de 1,33, 1,33, 0,67, 4,0, 1,33 et 1,33  $\text{g m}^{-2}$ , respectivement, et incorporés manuellement le 23 juin 2009 (25DAI). Les pousses des cultures d'engrais vert de chaque parcelle ont été échantillonnées et leur poids frais a été mesuré le 26 août 2009 (89 DAI). Au cours de la deuxième campagne agricole, trois engrais verts d'hiver (avoine, orge et seigle) ont été semés en mélange dans chaque parcelle à raison de 10,7, 13,3 et 10,7  $\text{g m}^{-2}$ , respectivement, et incorporés manuellement le 10 novembre 2009 (165 DAI). Les pousses des plantes

d'engrais vert de chaque parcelle ont été échantillonnées et leur poids frais a été mesuré le 18 mai 2010 (354 DAI). Au cours de la troisième campagne agricole, les cultures d'engrais verts d'été ont été semées le 13 août 2010 (441 DAI) et récoltées le 19 octobre 2010 (508 DAI). Au cours de la quatrième campagne agricole, les cultures d'engrais verts d'hiver ont été semées le 6 novembre 2010 (526 DAI) et récoltées le 17 mai 2011 (718 DAI).

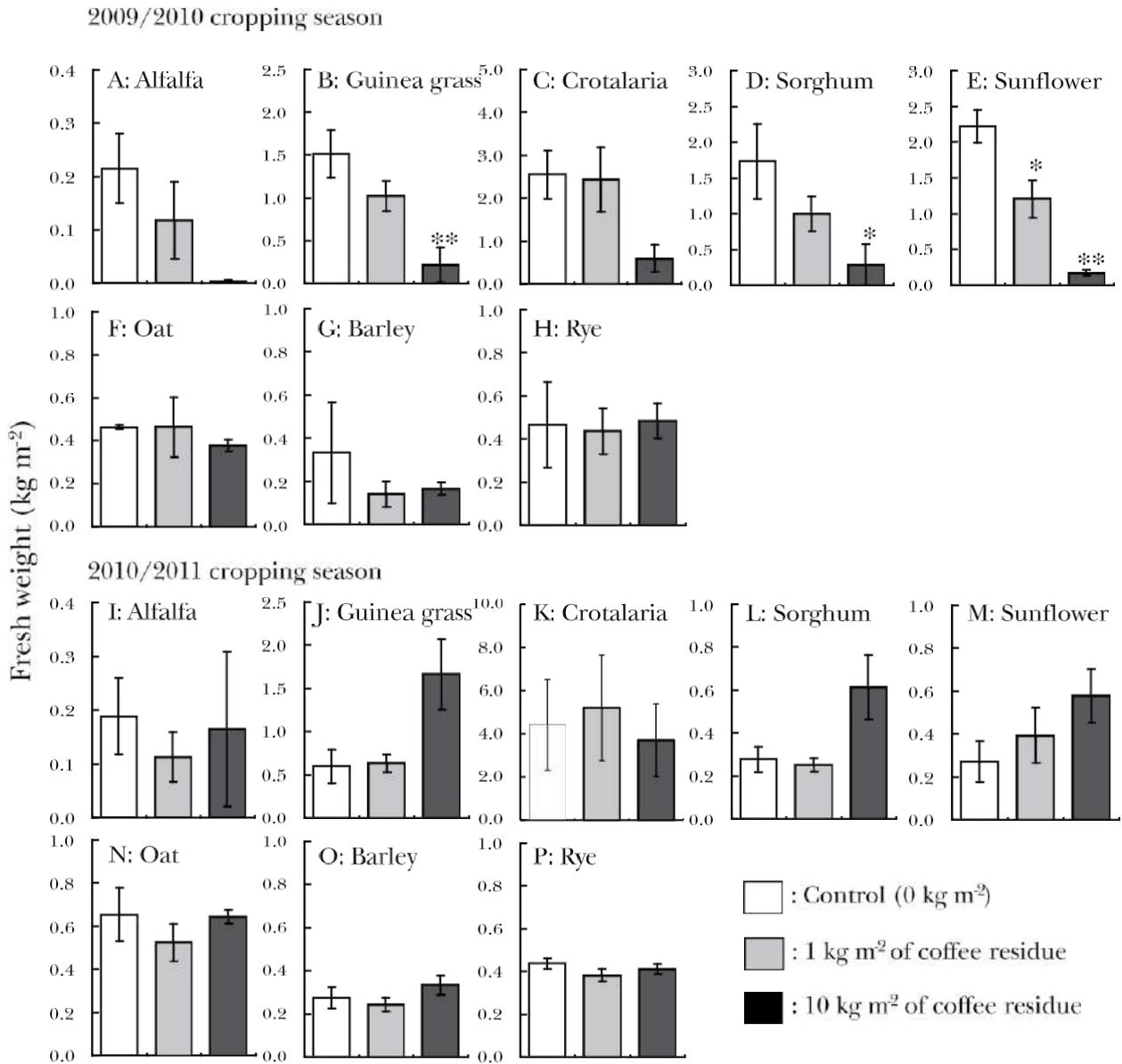


Fig. 2. Croissance des plantes d'engrais vert sur le sol incorporé au marc de café. (A - E) Première culture d'été de 12 à 88 DAI. (F - H) Première culture d'hiver de 165 à 354 DAI. (I - M) Deuxième culture d'été de 377 à 486 DAI. (N - P) Deuxième culture d'hiver de 526 à 718 DAI. Les données sont des moyennes  $\pm$  erreur standard (SE) ( $n = 3$  champs répétés). L'analyse de variance à un facteur a été utilisée pour comparer les moyennes entre les groupes. Si l'ANOVA était significative, des analyses post-hoc ont été effectuées à l'aide du test de comparaison multiple de Dunnett, le niveau de signification statistique étant considéré comme  $P < 0,05$  et  $P < 0,01$ . \* et \*\* au-dessus des barres indiquent des différences significatives par rapport au contrôle à  $P < 0,05$  et  $P < 0,01$ , respectivement.

### 3. Effets de la lutte contre les mauvaises herbes

Les effets du marc de café sur le contrôle des mauvaises herbes ont été étudiés. Toutes les mauvaises herbes de la parcelle ont été fauchées et du marc de café a été appliqué au sol en tant qu'engrais de surface le 26 juin 2009. Aucune culture d'engrais vert n'a été effectuée dans toutes les parcelles. Trois concentrations différentes de marc de café ont été utilisées : contrôle ( $0 \text{ kg m}^{-2}$ ), faible ( $4 \text{ kg m}^{-2}$ ) et forte ( $16 \text{ kg m}^{-2}$ ). Dix-huit parcelles (3 traitements  $\times$  6 répétitions) ont été disposées selon un plan en blocs aléatoires complets. La taille de chaque parcelle était de  $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ , et au total de  $5 \text{ m}$

$\times 11 \text{ m}$  ( $55 \text{ m}^2$ ). Le poids frais des mauvaises herbes dans une parcelle a été mesuré à

#### **4. Effets d'amélioration des sols**

Les effets d'amélioration du sol ont été évalués dans les trois expériences pendant deux ans après l'application de marc de café et de fumier de cheval. Un échantillon de sol de 0 à 15 cm de profondeur a été prélevé sur chaque parcelle le 24 mai 2011 après l'expérience. Les échantillons de sol dans l'expérience de comparaison des espèces des cultures d'engrais verts ont été prélevés au hasard à 6 endroits dans chaque traitement. Les échantillons de sol des autres expériences

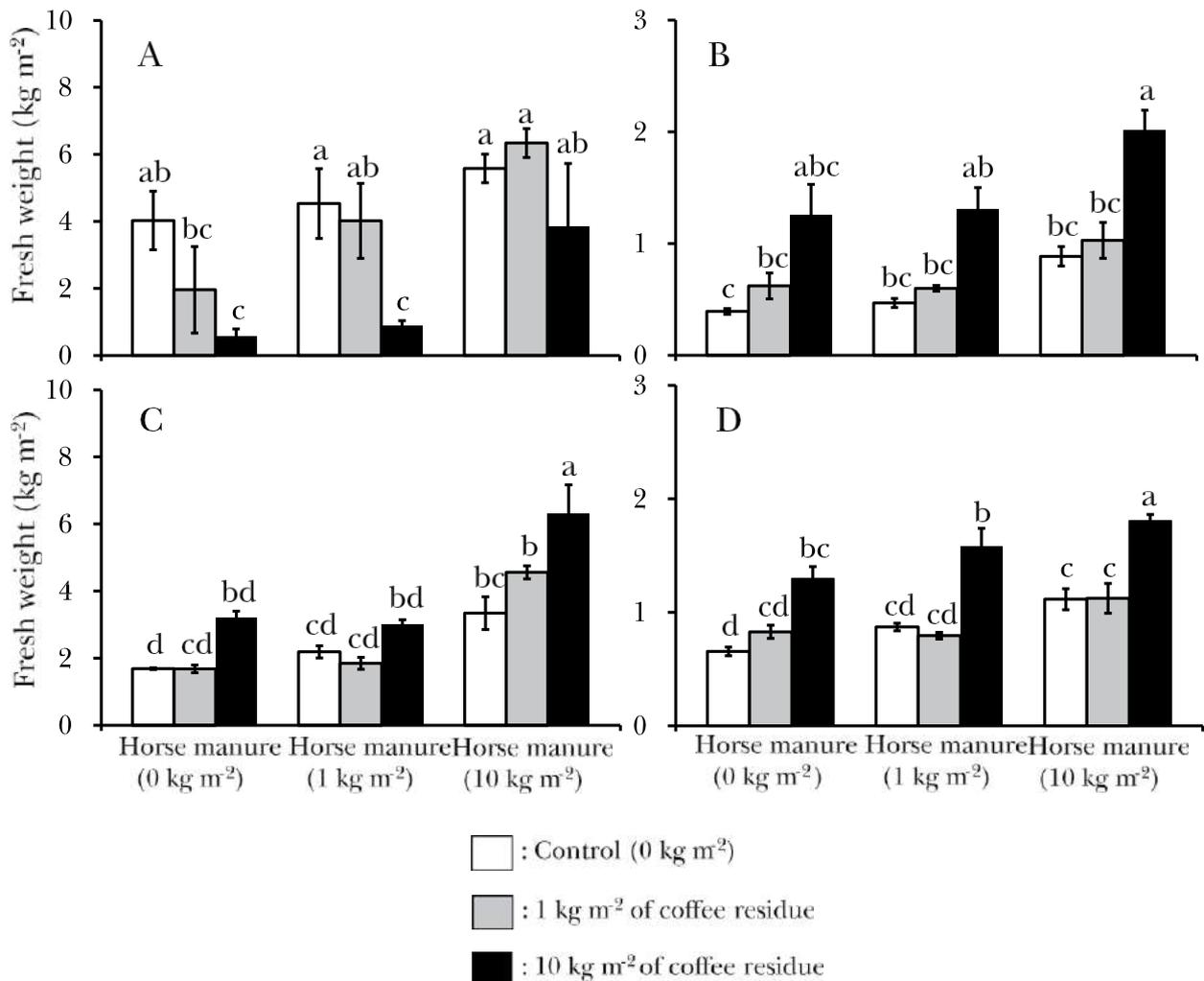


Fig. 3. Croissance des cultures d'engrais verts sur le sol incorporé au marc de café et au fumier de cheval. (A) Première culture d'été de 25 à 89 DAI. (B) Première culture d'hiver de 165 à 354 DAI. (C) Deuxième culture d'été de 441 à 508 DAI. (D) Deuxième culture d'hiver de 526 à 718 DAI. Les données sont des moyennes  $\pm$  SE (n = 3 champs répétés). L'ANOVA a été utilisée pour comparer les moyennes entre les groupes. Si l'ANOVA était significative, des analyses post-hoc ont été effectuées à l'aide du test de Tukey, le niveau de signification statistique étant considéré comme  $P < 0,05$ . Des lettres différentes au-dessus des barres indiquent des différences significatives.

ont été prélevés à un endroit de chaque traitement. Les échantillons de sol ont été passés à travers un tamis de 2 mm et séchés au four à 80°C pendant 2 jours. Après séchage, les échantillons ont été réduits en poudre et les teneurs totales en carbone et en azote ont été analysées par un analyseur CN (Yanako, MT-700 II). Les changements des teneurs en carbone et en azote dans le sol et le rapport CN ont été évalués.

Les données ont été analysées statistiquement à l'aide d'une analyse de variance à sens unique suivie de tests de comparaison multiple de Tukey ou de Dunnett. Les différences significatives ont été analysées sur la base de  $P < 0,05$  (Tukey) et  $P < 0,05$  et  $0,01$  (Dunnett) entre les moyennes des différents traitements.

## Résultats

### 1. Comparaison des espèces de cultures d'engrais verts

La figure 2 montre la croissance des cultures

d'engrais verts sur le sol avec ou sans application de marc de café. Au cours de la première saison de culture (Fig. 2A - E), les poids frais

de la luzerne, du sorgho et du tournesol cultivés sur

le sol contenant 1 kg m<sup>-2</sup> de marc de café a diminué d'environ 50 % par rapport au contrôle. Le poids frais de l'herbe de guinée a diminué d'environ 65% par rapport au contrôle. Cependant, le poids frais de la crotalaire n'a pas diminué de manière significative. La croissance de toutes les plantes cultivées sous le sol contenant 10 kg m<sup>-2</sup> de marc de café a été considérablement réduite. Le poids frais de l'herbe de guinée, du sorgho et du tournesol a diminué de manière significative (Fig. 2B, D, E). Au cours de la deuxième campagne agricole (Fig. 2F - H), le poids frais de l'orge dans le sol contenant 1 kg m<sup>-2</sup> et 10 kg m<sup>-2</sup> de marc de café a diminué. Les valeurs étaient inférieures de 50 % à celles du témoin. Cependant, les poids frais de l'avoine et du seigle étaient similaires à ceux du témoin. Au cours de la troisième saison de culture (Fig. 2I - P), les activités inhibitrices de la croissance des plantes du marc de café ont complètement disparu et les poids frais de l'herbe de guinée,

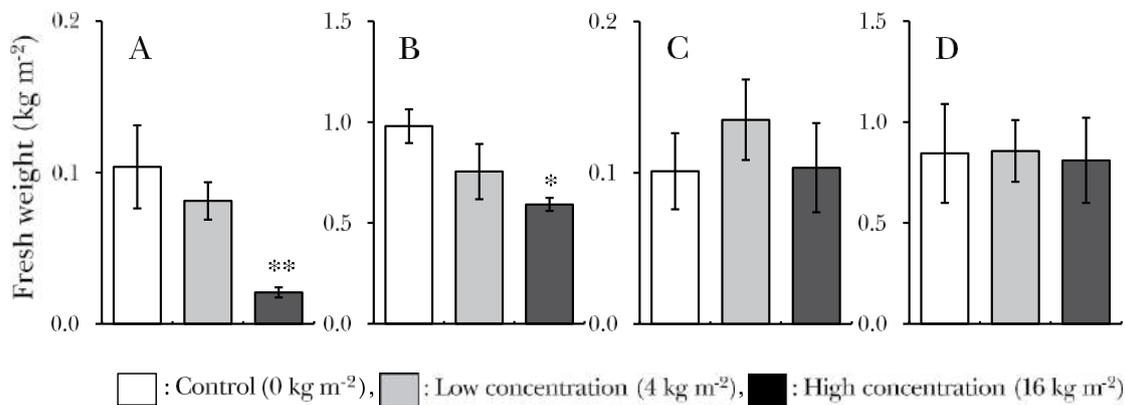


Fig. 4. Effets de l'épandage de marc de café sur la croissance des mauvaises herbes à (A) 171, (B) 419, (C) 565, (D) 694 DAI. Les données sont des moyennes  $\pm$  SE ( $n = 6$  champs répétés). L'ANOVA a été utilisée pour comparer les moyennes entre les groupes. Si l'ANOVA était significative, des analyses post-hoc ont été effectuées à l'aide du test de comparaison multiple de Dunnett, le niveau de signification statistique étant considéré comme  $P < 0,05$  et  $P < 0,01$ . \* et \*\* au-dessus des barres indiquent des différences significatives par rapport au contrôle à  $P < 0,05$  et  $P < 0,01$ , respectivement.

Le poids frais du sorgho et du tournesol a été multiplié par 2,7, 2,2 et 2,1 par rapport au témoin, respectivement. Le poids frais des autres plantes testées était similaire à celui du témoin.

## 2. Effets du mélange de fumier de cheval

La figure 3 montre le poids frais des cultures d'engrais verts dans une parcelle incorporée avec du marc de café ou du fumier de cheval ou les deux matériaux à différentes concentrations. Au cours de la première saison de culture, le poids frais des cultures d'engrais verts dans les parcelles incorporées avec 1 kg m<sup>-2</sup> et 10 kg m<sup>-2</sup> de marc de café sans application de fumier de cheval a diminué d'environ 50 % et 10 % par rapport au contrôle, respectivement (Fig. 3A). L'application de fumier de cheval au sol contenant du marc de café a supprimé cette diminution. Le poids frais dans la parcelle incorporée à la fois au marc de café et au fumier de cheval à 1 kg m<sup>-2</sup> était similaire à celui du témoin et à celui de la parcelle sans application de matières organiques (Fig. 3A). Cependant, le poids frais dans la parcelle incorporée avec 1 kg m<sup>-2</sup> de fumier de cheval et 10 kg m<sup>-2</sup> de marc de café a significativement diminué (Fig. 3A). Le poids frais dans la parcelle incorporée avec 1 kg m<sup>-2</sup> de marc de café et 10 kg m<sup>-2</sup> de fumier de cheval était le plus élevé parmi tous les traitements (Fig. 3A). L'application de 10 kg m<sup>-2</sup> de fumier de cheval a efficacement supprimé la diminution de la croissance, même si 10 kg m<sup>-2</sup> de marc de café ont été inclus dans le sol. La valeur était similaire à celle de la parcelle sans application de matières organiques. Bien que les mécanismes dissolvant les effets inhibiteurs de l'application de fumier de cheval ne soient pas encore clairs, les microbes pourraient être liés à la détoxification des activités inhibitrices de la croissance

des plantes dans le marc de café (Fujii et Takeshi, 2007). Cependant, d'autres études sont nécessaires pour élucider la relation entre l'application de fumier de cheval et l'activité des microbes dans les sols incorporés au marc de café.

### **Le marc de café. Au cours de la deuxième campagne**

agricole, les effets inhibiteurs du marc de café sur la croissance des cultures d'engrais verts se sont dissipés (Fig. 3B). La croissance des cultures d'engrais verts dans les parcelles incorporées au marc de café à  $10 \text{ kg m}^{-2}$  avec l'application de fumier de cheval à 0, 1 et  $10 \text{ kg m}^{-2}$  était respectivement 3,2, 2,8 et 2,3 fois supérieure à celle du témoin (Fig. 3B). Après la troisième saison de culture, plus le sol contenait de matières organiques, meilleure était la croissance des cultures d'engrais verts (Fig. 3C, D).

### **3. Effets de la lutte contre les mauvaises herbes**

La figure 4 montre le poids frais des mauvaises herbes dans une parcelle avec ou sans fumure de fond de marc de café. 171 jours après l'épandage, la croissance des adventices dans la parcelle traitée avec  $16 \text{ kg m}^{-2}$  de marc de café a été fortement inhibée par rapport à celle du témoin (Fig. 4A). Bien que la croissance des adventices dans la parcelle traitée avec  $4 \text{ kg m}^{-2}$  de marc de café ait été légèrement plus faible, une diminution significative n'a pas été observée (Fig. 4A). 419 jours après le traitement de surface, la croissance des adventices dans la parcelle traitée avec  $16 \text{ kg m}^{-2}$  de marc de café a été significativement inhibée (Fig. 4B). Cependant, l'ampleur de l'inhibition était inférieure à celle observée 171 jours après l'épandage. 565 et 694 jours après l'épandage, les effets inhibiteurs du marc de café sur la croissance des adventices ont disparu, même dans le sol recouvert d'une grande quantité de marc de café (Fig. 4C, D).

### **4. Effets d'amélioration des sols**

La figure 5 montre les teneurs totales en C et N et le rapport CN dans le sol avant et après l'expérience de comparaison des cultures d'engrais verts. Les teneurs totales en C et N du sol contenant  $1 \text{ kg m}^{-2}$  de marc de café étaient presque égales à celles du sol initial et du contrôle (Fig. 5A, B), et le rapport CN était également similaire (Fig. 5C). Les teneurs totales en C et N du sol contenant  $10 \text{ kg m}^{-2}$  de marc de café

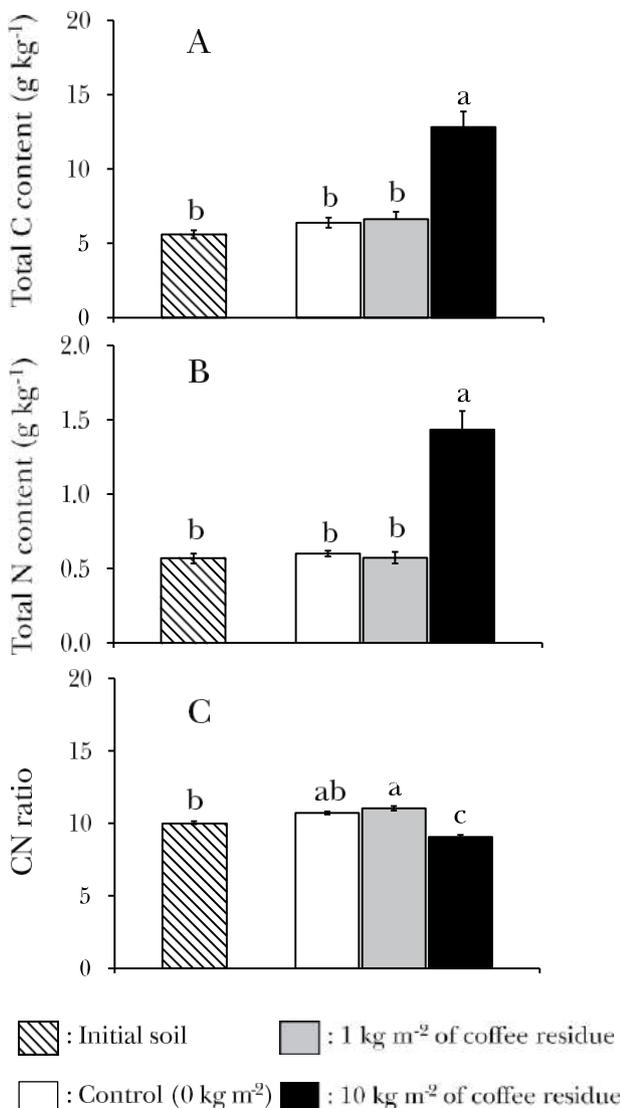
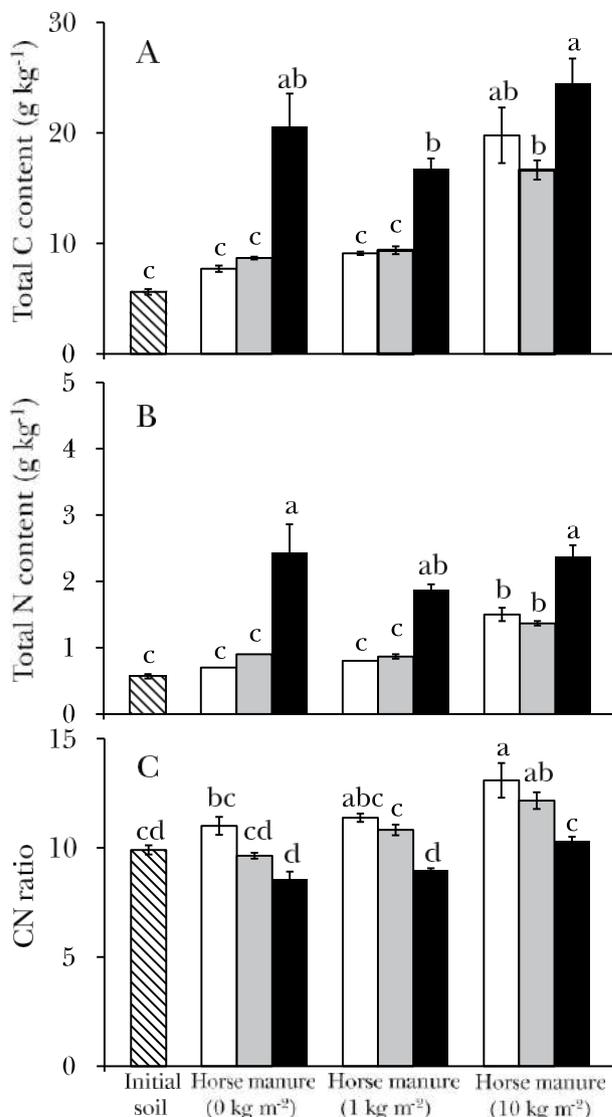


Fig. 5. Teneurs totales en C et N et rapport CN dans les sols incorporés avec du marc de café à 0, 1 et 10 kg m<sup>-2</sup>. Les sols initiaux avant les traitements ont été échantillonnés le 29 mai 2009. Après la croissance des cultures d'engrais verts pendant deux ans, les sols ont été échantillonnés le 24 mai 2011. Les échantillons de sol ont été prélevés au hasard à 6 endroits dans chaque traitement. Les données sont des moyennes ± SE (n = 3 champs répétés). L'ANOVA a été utilisée pour comparer les moyennes entre les groupes. Si l'ANOVA était significative, des analyses post-hoc ont été effectuées à l'aide du test de Tukey, le niveau de signification statistique étant considéré comme  $P < 0,05$ . Des lettres différentes au-dessus des barres indiquent des différences significatives.



marc de café ont été incorporés (Fig. 6A, B). Dans le sol incorporé avec les deux matériaux à 1 kg

a augmenté de manière significative. Les valeurs étaient environ 2 fois supérieures à celles du sol initial et du contrôle (Fig. 5A, B). En outre, le rapport CN a diminué de manière significative par rapport à celui du sol initial et du contrôle (Fig. 5C).

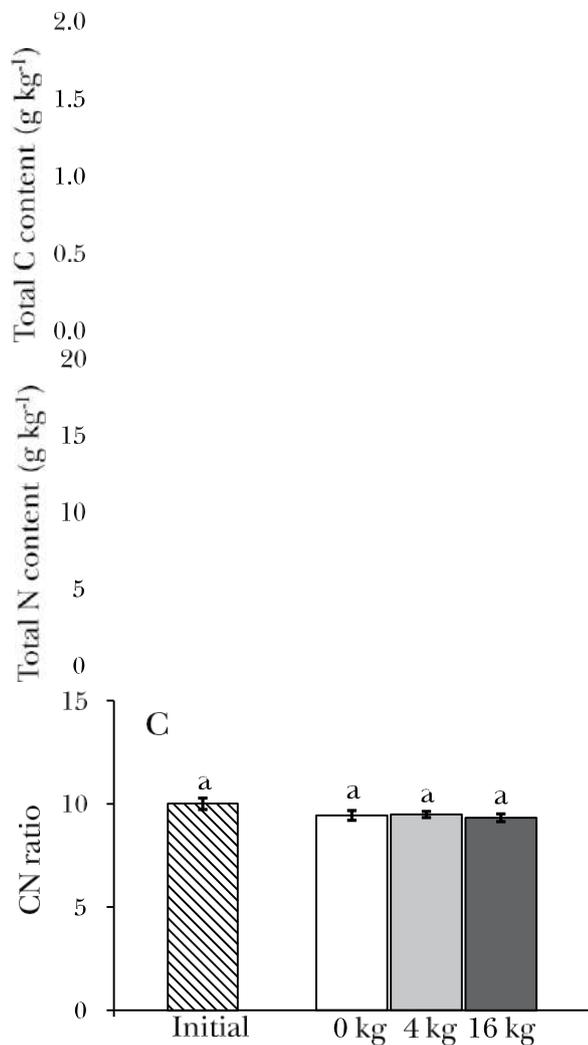
Les figures 6A et B montrent les teneurs totales en C et en N des sols avant et après l'application de marc de café et de fumier de cheval. Dans le sol sans application de fumier de cheval, les teneurs totales en C et en N n'ont augmenté que lorsque 10 kg m<sup>-2</sup> de

 : Initial soil  : 1 kg m<sup>-2</sup> of coffee residue

 : Control (0 kg m<sup>-2</sup>)  : 10 kg m<sup>-2</sup> of coffee residue

Fig. 6. Teneurs totales en C et N et rapport CN des sols incorporés avec du marc de café et du fumier de cheval à 0, 1 et 10 kg m<sup>-2</sup>, respectivement. Les sols initiaux avant les traitements ont été échantillonnés le 29 mai 2009. Après la croissance des cultures d'engrais verts, les sols ont été échantillonnés le 24 mai 2011. Les données sont des moyennes ± SE (n = 3 champs répétés). L'ANOVA a été utilisée pour comparer les moyennes entre les groupes. Si l'ANOVA était significative, des analyses post-hoc ont été effectuées à l'aide du test de Tukey, le niveau de signification statistique étant considéré comme  $P < 0,05$ . Des lettres différentes au-dessus des barres indiquent des différences significatives.

m<sup>-2</sup>, les teneurs totales en C et en N n'ont pas augmenté de manière significative par rapport à celles du sol initial et du contrôle. Cependant, les teneurs totales en C et en N étaient significativement plus élevées dans le sol ayant reçu du marc de café et du fumier de cheval à raison de 10 kg m<sup>-2</sup> et de 1 kg m<sup>-2</sup>, respectivement. Dans le sol incorporé avec 10 kg m<sup>-2</sup> de fumier de cheval, les teneurs totales en C et en N ont augmenté de manière significative par rapport à celles du sol initial et du témoin.



sol incorporé avec seulement du fumier de cheval à 1 et 10 kg m<sup>-2</sup> étaient 11,38 et 13,08, respectivement. Les valeurs ont diminué

Fig. 7. Teneurs totales en C et N et rapport CN dans les sols recouverts de marc de café à 0, 4, 16 kg m<sup>-2</sup>. Les sols initiaux avant le paillage ont été échantillonnés le 29 mai 2009. Après l'étude de la croissance des mauvaises herbes pendant deux ans, les sols ont été échantillonnés le 24 mai 2011. Les données sont des moyennes  $\pm$  SE (n = 6 champs répétés). L'ANOVA a été utilisée pour comparer les moyennes entre les groupes. Si l'ANOVA était significative, des analyses post-hoc ont été effectuées à l'aide du test de Tukey, le niveau de signification statistique étant considéré comme  $P < 0,05$ . Des lettres différentes au-dessus des barres indiquent des différences significatives.

avec les sols initiaux, même si aucun marc de café n'a été incorporé. La teneur totale en C du sol incorporé avec les deux matériaux à 10 kg m<sup>-2</sup> n'était pas significativement plus élevée que celle du contrôle, mais la teneur totale en N a augmenté de manière significative. La teneur totale en N du sol auquel on a appliqué 10 kg m<sup>-2</sup> de marc de café seul était significativement plus élevée que celle du sol incorporé avec seulement 10 kg m<sup>-2</sup> de fumier de cheval. La figure 6C montre le rapport CN dans le sol avant et après les expériences. Le rapport CN dans le sol initial était de 9,9 (Fig. 6C). Le rapport a augmenté avec l'application de fumier de cheval. Les valeurs dans le

avec l'augmentation de la concentration de marc de café incorporé dans le sol. En particulier, les valeurs dans le sol incorporé avec  $10 \text{ kg m}^{-2}$  de marc de café ont significativement diminué par rapport à celles du contrôle.

La figure 7 montre les teneurs totales de C et N et le rapport CN dans le sol initial et dans le sol après l'épandage de marc de café. Les teneurs en C et N du sol traité avec  $4 \text{ kg m}^{-2}$  de marc de café ont légèrement augmenté par rapport au sol initial (Fig. 7A, B), mais pas de manière significative. Les teneurs totales en C et N du sol traité avec  $16 \text{ kg m}^{-2}$  de marc de café ont fortement augmenté (Fig. 7A, B). Le rapport CN était similaire quelle que soit la concentration de marc de café (Fig. 7C).

## Discussion

### 1. Effets du marc de café sur les cultures d'engrais verts

L'activité inhibitrice du marc de café sur la croissance des plantes a déjà été étudiée par plusieurs auteurs (Kitou et Yoshida, 1997 ; Wakasawa et al., 1998a). Toutefois, ces études ont été réalisées dans des pots remplis d'un sol contenant du marc de café. Les effets du marc de café sur la croissance des plantes dans les champs n'ont pas été évalués. Au cours de la première saison de culture, toutes les cultures d'engrais vert sous le sol incorporé avec  $10 \text{ kg m}^{-2}$  de marc de café ont montré des réponses négatives (Figs. 2A - E). Les déchets de café tels que la pulpe, la balle et le marc de café contiennent de la caféine, des tanins et des polyphénols qui inhibent la croissance des plantes (Rizvi et al., 1981 ; Pandey et al., 2000). Ainsi, l'inhibition de la croissance des cultures d'engrais verts sur le sol contenant  $10 \text{ kg m}^{-2}$  de marc de café pourrait être due aux activités inhibitrices du marc de café.

Les réactions de croissance sur le sol contenant  $1 \text{ kg m}^{-2}$  de marc de café ont varié en fonction de l'espèce cultivée (Fig. 2). Au cours de la première saison de culture, la croissance de la crotalaire sur le sol contenant  $1 \text{ kg m}^{-2}$  de marc de café était similaire à celle du témoin (Fig. 2C), alors que la croissance des autres cultures était inhibée. Les légumineuses pourraient être relativement tolérantes au marc de café en raison de la fixation biologique de  $\text{N}_2$ . Rochester et al. (1993) ont montré que l'incorporation de résidus de culture réduisait légèrement la teneur en azote minéral du sol en encourageant l'immobilisation biologique. Wakasawa et al. (1998a) ont observé, lors d'expériences en pots, que la teneur en N inorganique du sol diminuait trois mois après l'incorporation de marc de café. Les auteurs ont donc supposé que l'application de marc de café dans le sol induit une privation d'azote. Kitou et Yoshida (1997) ont rapporté que les légumineuses telles que le haricot azuki et le soja poussent bien dans le sol contenant une faible concentration de marc de café. Ces résultats et implications suggèrent qu'il est utile de cultiver des

espèces de légumineuses dans le sol incorporé au marc de café. Cependant, l'amélioration de la croissance de la luzerne et de la crotalaire au cours de la troisième saison de culture n'a pas été observée (Fig. 2I, K). Ainsi, l'utilisation de plantes légumineuses est plus efficace au cours de la première saison de culture.

après l'application de marc de café.

Les effets inhibiteurs sur la croissance de l'orge se sont maintenus même à 354 DAI (Fig. 2G). En outre, les effets d'amélioration du marc de café sur les cultures d'engrais verts d'hiver n'ont pas été observés au cours de l'expérience. Ainsi, les effets inhibiteurs et stimulants du marc de café varient en fonction de l'espèce cultivée.

## 2. Effets de la lutte contre les mauvaises herbes

L'utilisation intensive d'herbicides commerciaux pour lutter contre les mauvaises herbes induit l'évolution des mauvaises herbes résistantes aux herbicides (Owen et Zelaya, 2005). L'application combinée de matières organiques telles que le son de riz (Toga et al., 2006) ou l'allélopathie (Owen et Zelaya, 2005) peut contribuer à réduire le développement de la résistance aux herbicides chez les écotypes d'adventices. Bien que l'utilisation de l'allélopathie pour le contrôle des adventices ait été largement étudiée et que de nombreux composés aient été identifiés (Khanh et al., 2007 ; Farooq et al., 2011), l'utilisation efficace des matières organiques a rarement été étudiée. Kitou et Yoshida (1997) ont supposé que le marc de café était utile comme agent de lutte contre les mauvaises herbes en raison de ses effets inhibiteurs sur la croissance des plantes. Cependant, il n'existe pas d'études de terrain sur l'impact ou la durée du contrôle des mauvaises herbes. Dans la présente étude, l'application de marc de café à raison de 16 kg m<sup>-2</sup> sur le champ a permis de lutter efficacement contre les mauvaises herbes (Fig. 4A). Cependant, l'application à 4 kg m<sup>-2</sup> a eu peu d'impact sur le contrôle des mauvaises herbes. La croissance de toutes les plantes d'engrais vert testées a été inhibée par 10 kg m<sup>-2</sup> de marc de café (Fig. 2A - E), et la croissance du tournesol, du sorgho et de l'orge a été inhibée par 1 kg m<sup>-2</sup> de marc de café (Fig. 2D, E, G). Bien que la sensibilité au marc de café varie en fonction de l'espèce végétale, 10 kg m<sup>-2</sup> de l'application seraient suffisants pour contrôler les mauvaises herbes. Les effets du marc de café sur le contrôle des mauvaises herbes ont diminué 419 jours après l'épandage (Fig. 4B) et se sont complètement dissipés 565 jours après l'épandage (Fig. 4C). Ainsi, l'épandage de marc de café à plus de 10 kg m<sup>-2</sup> permet de contrôler les mauvaises herbes pendant 6 mois.

## 3. Effets d'amélioration des sols

L'incorporation de marc de café, de fumier de cheval ou des deux matériaux à raison de 10 kg m<sup>-2</sup> a augmenté de manière significative la teneur totale en C du sol (Fig. 5, 6, 7). Comme les composés carbonés du marc de café sont carbonisés lors du processus de torréfaction, la teneur en C organique décomposable est très faible (Kitou et Okuno, 1999). Le fumier de cheval a une faible fraction de C organique décomposable par rapport aux autres types de fumier tels que le fumier de poulet, de vache et de

porc (Ajwa et Tabatabai, 1994). En outre, le fumier de cheval contient une grande quantité de fibres végétales, qui se décomposent lentement (Ajwa et Tabatabai, 1994). Ces résultats suggèrent que l'augmentation significative de la teneur totale en C dans le sol proviendrait à la fois du C organique insoluble du marc de café et des fibres végétales du fumier de cheval.

## L'application de marc de café, mais pas de fumier

de cheval, a largement contribué à l'augmentation de la teneur totale en N du sol (Fig. 6B), ce qui a entraîné une diminution du rapport CN. Ainsi, les effets du marc de café sur l'amendement du sol ont été significativement plus importants en termes d'enrichissement en azote et d'amélioration du rapport CN que ceux du fumier de cheval. Cependant, l'épandage de marc de café en surface n'a pas entraîné de diminution du rapport CN (Fig. 7). Ainsi, l'incorporation du marc de café est plus efficace que l'épandage en surface pour améliorer les propriétés du sol. Le taux élevé d'azote total dans le sol incorporé au marc de café est supposé être dû à l'accumulation d'azote insoluble. Kitou et Okuno (1999) ont démontré que le taux d'azote facilement décomposable est faible dans le marc de café, car ces composants de l'azote peuvent être éliminés par l'extraction du café. Maki et al. (2009) ont indiqué que le taux d'azote facilement décomposable dans le fumier de vache traité à 180°C est inférieur à celui traité à 80°C. La température du processus de torréfaction du marc de café est d'environ 200°C (Clarke, 1987). Ces résultats suggèrent que la plupart de l'azote contenu dans le marc de café est de l'azote insoluble. Cependant, Wakasawa et al. (1998a) ont rapporté que la teneur en  $\text{NO}_3^-$ -N du sol incorporé au marc de café augmente progressivement après 4 mois d'application. La libération d'azote dans le sol aurait également contribué à la croissance accrue de l'herbe de guinée, du sorgho et du tournesol au cours de la troisième saison de culture (Fig. 2J, L, M). Ainsi, le marc de café a le potentiel d'améliorer la fertilité du sol et de favoriser la croissance à long terme des cultures.

#### 4. Implications pour l'agriculture

L'utilisation efficace du marc de café en agriculture n'a pas été proposée jusqu'à présent, en raison des effets inhibiteurs sur la croissance des plantes après l'application. Cependant, les effets inhibiteurs pourraient être utiles pour le contrôle des mauvaises herbes dans les systèmes de rotation des cultures avec une période de jachère. En outre, compte tenu du fait que l'amélioration de la croissance des cultures d'engrais verts après un an d'application de marc de café (Fig. 2J, L, M), l'augmentation de la teneur totale en N et la diminution du rapport CN dans le sol (Fig. 5, 6), les résidus pourraient être bénéfiques pour la réduction de l'application d'engrais N et pour l'amendement du sol dans les systèmes de rotation des cultures. En outre, les espèces de légumineuses seraient beaucoup plus sûres à cultiver juste après la période de jachère. Ces résultats conduisent à proposer le système d'assolement suivant. Dans le système de rotation des cultures avec période de jachère, plus de 10 kg m<sup>-2</sup> de marc de café sont épandus sur le sol pour lutter contre les mauvaises herbes pendant cette

période. Après la période de jachère, disons juste une période d'hiver pour les régions chaudes et une période d'un an pour les régions froides, le marc de café est bien mélangé au sol par un labour au ciseau, puis des espèces de légumineuses peuvent être cultivées. Dans les systèmes de rotation des cultures sans période de jachère, le fumier de cheval est incorporé au sol en quantité égale au marc de café pour diminuer les effets inhibiteurs. Pour surmonter les

En raison des inconvénients de l'application directe du marc de café sur le sol, le compostage a été considéré comme une méthode appropriée (Wakasawa et al., 1998a ; Kitou et Okuno, 1999). Cependant, l'application de quantités presque égales de fumier de cheval suffit à surmonter les effets inhibiteurs (Fig. 3A). Dans les deux systèmes de rotation des cultures, les légumineuses relativement tolérantes au marc de café sont disponibles pour la culture au cours de la première saison de culture après l'incorporation. En outre, le marc de café est utile pour lutter contre les mauvaises herbes dans les sillons ou les passages pendant la saison de culture des deux systèmes.

Le marc de café a le potentiel d'augmenter la teneur totale en N des sols à long terme, parce que le sol incorporé au marc de café a un taux élevé de N total. L'application de marc de café favoriserait également la croissance des plantes en améliorant les propriétés chimiques et physiques du sol. Les grains de café vert étant torréfiés à environ 200 °C, le marc de café devrait avoir des propriétés similaires à celles du charbon de bois. Certains rapports indiquent que l'application de biochar sur les sols peut améliorer la croissance des plantes et les rendements grâce à l'amélioration des propriétés chimiques du sol (Glaser et al., 2002). Les effets du marc de café sur les propriétés du sol doivent donc être évalués de manière plus approfondie dans le cadre d'études de terrain à long terme afin d'étendre l'utilisation agricole du marc de café. En outre, le marc de café a le potentiel de capturer et de stocker géologiquement le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Étant donné que la teneur totale en carbone deux ans après l'application du marc de café est restée élevée (Fig. 5A, 6A, 7A), le carbone dérivé du résidu resterait plus longtemps que celui dérivé d'autres matières organiques. L'application de marc de café semble donc importante pour contribuer à l'atténuation du changement climatique mondial.

### Remerciements

Nous remercions Ijiri, T., Shimada, K., Horiuchi, W., Inokuma, Y., et les autres membres du laboratoire des sciences de la culture de la faculté d'agriculture de l'université de Kinki pour leur soutien.

### Références

- Ajwa, H.A. et Tabatabai, M.A. 1994. Decomposition of different organic materials in soils. *Biol. Fert. Soils* 18 : 175-182.
- Clarke, R.J. 1987. Roasting and grinding. Dans R.J. Clarke et R. Macrae eds, *Coffee Vol. 2 Technology*. Elsevier Applied Science, Londres. 79.
- Dinnes, D.L., Karlen, D.L., Jaynes, D.B., Kasper, T.C., Hatfield, J.L., Colvin, T.S. et Cambardella, C.A. 2002. Nitrogen management strategies to reduce nitrate leaching in tile-drained Midwestern soils. *Agron. J.* 94 : 153-171.
- Farooq, M., Jabran, K., Cheema, Z.A., Wahid, A. et Siddique, K.

- H.M. 2011. Le rôle de l'allélopathie dans la lutte contre les ravageurs agricoles. *Pest Manag. Sci.* 67 : 493-506.
- Fujii, K. et Takeshi, K. 2007. *Penicillium* strains as dominant

- degraders in soil for coffee residue, a biological waste tea leaf wastes to improve the yield and mineral content of grains of paddy rice. *J. Sci. Food Agric.* 91 : 2108-2111.
- Yamane et al. - Effets toxiques et correctifs du marc de café
- unsuitable for fertilization. *J. Appl. Microbiol.* 103 : 2713-2720.
- Glaser, B., Lehmann, J. et Zech, W. 2002. Amélioration des propriétés physiques et chimiques des sols fortement altérés dans les tropiques avec du charbon de bois - une revue. *Biol. Fert. Soils* 35 : 219-230.
- Gómez-López, M. et del Amor, F.M. 2013. Fertilisation azotée durable du poivron : évaluation de la croissance et de la qualité des fruits ainsi que de la pollution potentielle par les nitrates provenant de différentes fumures organiques. *J. Sci. Food Agric.* 93 : 1062-1069.
- OIC, Organisation internationale du café. 2011. Tableaux de la production totale des pays exportateurs de 2006 à 2011. [En ligne]. Disponible à l'adresse suivante : <http://www.ico.org/prices/po.htm>
- Kasongo, R.K., Verdoodt, A., Kanyankagote, P., Baert, G. et Van Ranst, E. 2011. Coffee waste as an alternative fertilizer with soil improving properties for sandy soils in humid tropical environments. *Soil Use Manage.* 27 : 94-102.
- Khanh, T.D., Xuan, T.D. et Chung, I.M. 2007. Rice allelopathy and the possibility for weed management (Allélopathie du riz et possibilité de gestion des mauvaises herbes). *Ann. Appl. Biol.* 151 : 325-339.
- Kitou, M. et Yoshida, S. 1997. Effect of coffee residue on the growth of several crop species. *J. Weed Sci. Tech.* 42 : 25-30.
- Kitou, M. et Okuno, S. 1999. Decomposition of coffee residue in soil. *Soil Sci. Plant Nutr.* 45 : 981-985.
- Maki, H., Kono, S. et Nagai, K. 2009. Change in nutrient content and solubility by carbonization or heat treatment of cattle manure. *Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.* 80 : 257-262\*.
- Morikawa, C.K. et Saigusa, M. 2011. Recycling coffee grounds and
- Owen, M.D.K. et Zelaya, I.A. 2005. Cultures résistantes aux herbicides et résistance des mauvaises herbes aux herbicides. *Pest Manag. Sci.* 61 : 301-311.
- Pandey, A., Soccol, C.R., Nigam, P., Brand, D., Mohan, R. et Roussos, S. 2000. Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses (Potentiel biotechnologique de la pulpe et de la balle de café pour les bioprocédés). *Biochem. Eng. J.* 6 : 153-162.
- Rizvi, S.J.H., Mukerji, D. et Mathur, S.N. 1981. Selective phytotoxicity of 1,3,7-trimethylxanthine between *Phaseolus mungo* and some weeds. *Agric. Biol. Chem.* 45 : 1255-1256.
- Rochester, I.J., Constable, G.A. et Macleod, D.A. 1993. Cycling of fertilizer and cotton crop residue nitrogen. *Soil Res.* 31 : 597-609.
- Silva, M.A., Nebra, S.A., Machado Silva, M.J. et Sanchez, C.G. 1998. The use of biomass residues in the Brazilian soluble coffee industry. *Biomass Bioenerg.* 14 : 457-467.
- Toga, M., Tonouchi, R., Kujira, Y. et Ogiwara, T. 2006. Effect of organic matters scattering on the weed control, soybean growth, yield and yield components in the field. *Hokuriku Crop Sci.* 41 : 100-102\*.
- Wakasawa, H., Takahashi, K. et Mochizuki, K. 1998a. Application et conditions de compostage du marc de café. 1. Application du marc de café dans le sol. *Jpn. J. Soil. Sci. Plant Nutr.* 69 : 1-6\*.
- Wakasawa, H., Takahashi, K. et Mochizuki, K. 1998b. Application et conditions de compostage du marc de café. 2. Conditions de compostage du marc de café mélangé à de l'écorce. *Jpn. J. Soil. Sci. Plant Nutr.* 69 : 7-11\*.

\* En japonais avec un résumé en anglais.