



**PROGRAMME MIXTE FAO/OMS SUR LES NORMES ALIMENTAIRES  
COMITÉ DU CODEX SUR LES CONTAMINANTS DANS LES ALIMENTS**

**Quatorzième session**

**(en ligne)**

**3-7 et 13 mai 2021**

**CODE D'USAGES POUR LA PRÉVENTION ET LA RÉDUCTION DE  
LA CONTAMINATION DES FÈVES DE CACAO PAR LE CADMIUM**

**(À l'étape 4)**

(Préparé par le groupe de travail électronique  
dirigé par le Pérou et co-présidé par l'Équateur et le Ghana)

(Préparé par le groupe de travail électronique présidé par les États-Unis d'Amérique  
et co-présidé par le Royaume-Uni et le Japon)

Les membres du Codex et observateurs qui souhaitent formuler des observations à l'étape 3 sur ce document devront le faire conformément aux instructions données dans la lettre circulaire CL 2021/12/OCS-CF disponible sur la page web du Codex<sup>1</sup>

## GÉNÉRALITÉS

1. Lors de la 11<sup>e</sup> session du Comité du Codex sur les contaminants dans les aliments (CCCF11, 2017), le Pérou a introduit une proposition de développement d'un Code d'usages pour guider les états membres et l'industrie de la production du cacao dans la prévention et la réduction de la contamination des fèves de cacao par le cadmium (Cd) pendant les phases de production et de transformation. Le comité est convenu d'établir un groupe de travail électronique (GTE), dirigé par le Pérou, afin de préparer un document de discussion pour examen sur l'opportunité de développer un tel code d'usages ainsi que les mesures d'atténuation de risque disponibles en vue d'aider au développement d'un code d'usages.<sup>2</sup>
2. Lors du CCCF12 (2018), le Pérou a présenté le document de discussion et a souligné l'utilité de mener une enquête en vue de recueillir des informations sur des pratiques validées tout au long de la chaîne alimentaire pour la prévention et la réduction de la contamination du cacao par le cadmium, avant d'entamer de nouveaux travaux sur le développement d'un Code d'usages. En vue de recueillir ces informations, le Comité a convenu qu'une circulaire serait préparée pour l'enquête et distribuée par le Secrétariat du Codex. L'avis a été exprimé que, dans les conclusions, les seuls points qui devraient être répertoriés sont ceux qui sont pertinents pour le développement du Code d'usages. Le Secrétariat du JECFA a demandé au Comité de porter une attention particulière aux mesures de réduction qui seraient réalisables pour une application même par des petits exploitants.
3. Lors du CCCF12, il a été convenu de rétablir le GTE présidé par le Pérou et co-présidé par l'Équateur et le Ghana en vue de poursuivre l'élaboration du document de discussion visant à : (i) déterminer si les mesures d'atténuation disponibles à l'heure actuelle sont susceptibles de favoriser l'élaboration du Code d'usages et (ii) définir le champ d'application du Code d'usages (par exemple, si le Code d'usages couvrira l'ensemble de la chaîne de production ou uniquement la production primaire) en fonction des réponses fournies à l'enquête. Le GTE doit concentrer ses travaux sur des mesures de réduction qui se sont avérées rentables et applicables dans le monde entier par des gros et des petits producteurs.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Page web du Codex/Lettres circulaires :  
<http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/resources/circular-letters/fr/>.

Page web du Codex/CCCF/Lettres circulaires :

<http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/committees/committee/related-circular-letters/en/?committee=CCCF>

<sup>2</sup> REP17/CF, paragraphes 154–155.

<sup>3</sup> REP18/CF, paragraphes 141–146.

4. Lors du CCCF13 (2019), le Pérou a présenté le document de discussion et a indiqué que les mesures de gestion des risques disponibles à ce jour soutenaient le développement d'un Code d'usages pour les phases de production primaire et d'après la récolte (c'est-à-dire les procédés de fermentation, de séchage et d'entreposage). De telles mesures ont été validées en tant que mesures faisables, rentables et applicables à l'échelle mondiale par de petits, de moyens et de gros producteurs. Des pratiques de fabrication / de transformation pouvant permettre de réduire efficacement les niveaux de cadmium dans les produits transformés (par ex. le chocolat) ne seront pas incluses dans le champ d'application du Code d'usages, car elles ne sont pas encore facilement disponibles. Toutefois, des études actuellement menées dans différents pays sur la possibilité de réduire la contamination par le cadmium aux différentes étapes de la chaîne de transformation pourraient être ajoutées au Code d'usages à l'avenir. Le Code d'usages contribuerait à réduire la contamination des fèves de cacao et des produits à base de fèves de cacao par le cadmium et faciliterait l'application et le respect des LM pour le cadmium dans le chocolat et les produits à base de chocolat.

#### **MANDAT**

5. Le du CCCF13, a donc accepté de : (i) soumettre le document de projet<sup>4</sup> à la CAC42 pour qu'elle approuve les nouveaux travaux et (ii) d'établir un GTE, présidé par le Pérou et co-présidé par le Ghana et l'Équateur pour élaborer, sous réserve de l'approbation de la CAC42, un projet de Code d'usages basé sur le document fourni à l'Appendice II du document CX/CF 19/13/12, pour observations et examen à la prochaine session du Comité.<sup>5</sup>
6. La 42<sup>e</sup> session de la Commission du Codex Alimentarius (CAC42, 2019) a approuvé les nouveaux travaux.<sup>6</sup>

#### **GESTION DU TRAVAIL**

7. Le GTE a préparé un premier projet basé sur l'aperçu fourni dans le document CX/CF 19/13/12, Appendice II et les observations soumises par les membres du GTE. Le CCCF14 ayant été reporté de mai 2020 à mai 2021 en raison de la pandémie de COVID-19, et compte tenu du temps supplémentaire dont dispose le Comité, un rapport intermédiaire du GTE a été publié sous la référence CX/CF 20/14/7. Les observations sur le Code d'usages ont été demandées par le biais de la CL 2020/20/OCS-CF pour un examen plus approfondi par le GTE. Les observations reçues en réponse à cette lettre circulaire ont été compilées dans le document CX/CF 20/14/7-Add.1. D'après les observations reçues en réponse à cette lettre circulaire et de celles des membres du GTE, le GTE a révisé le Code d'usages et a produit un document révisé, présenté à l'Appendice I du présent document.
8. Les documents de travail publiés en 2020, qui ont été révisés ou mis à jour en 2021 pour être examinés par le CCCF14, sont disponibles sur le site web du Codex<sup>7</sup>.

#### **CONCLUSION**

9. Le Code d'usages pour la prévention et la réduction de la contamination des fèves de cacao par le cadmium, y compris au cours du transport, est présenté à l'Annexe I. Un document de référence fournissant la base des dispositions du Code d'usages est présenté à l'Appendice II pour information.

#### **RECOMMANDATIONS**

10. Le CCCF est invité à examiner le Code d'usages révisé tel qu'il figure à l'Appendice I et fournir :
- des observations générales sur le format général et sur le contenu du Code d'usages, et
  - des observations spécifiques sur les dispositions qui pourraient nécessiter d'être davantage développées.
11. D'après les directives fournies aux points 19(a/b), le CCCF est invité à :
- examiner si le Code d'usages est prêt à être adopté à l'étape 5 par la CAC44 (2021)
  - rétablir le GTE afin de poursuivre l'élaboration du Code d'usages, en particulier les dispositions qui nécessitent un développement supplémentaire, telles qu'identifiées par le Comité, en vue de leur finalisation lors du CCCF15 (2022).
12. Lors de l'examen des points soulevés aux paragraphes 10 et 11, le CCCF est invité à tenir compte des observations soumises par les membres et observateurs du Codex en réponse à la lettre circulaire.

<sup>4</sup> REP19/CF, Appendice VIII.

<sup>5</sup> REP19/CF, paragraphes 108–112.

<sup>6</sup> REP19/CAC, Appendice V.

<sup>7</sup> <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/meetings/extra/cccf14-2020/en/>

## APPENDICE I

### CODE D'USAGES POUR LA PRÉVENTION ET LA RÉDUCTION DE LA CONTAMINATION DES FÈVES DE CACAO PAR LE CADMIUM (Pour observation à l'étape 4)

#### 1. INTRODUCTION

1. L'objectif de cet avant-projet de Code d'usages est de fournir une orientation aux États membres et à l'industrie de la production de cacao dans le domaine de la prévention et de la réduction de la contamination des fèves de cacao par le cadmium (Cd) durant la production et la transformation après récolte : fermentation, séchage et stockage, y compris durant le transport éventuellement impliqué.
2. Le Cd est un métal lourd qui pénètre principalement dans l'environnement par le biais d'activités anthropiques telles que le traitement des minerais, la combustion de combustibles et de déchets, et l'application d'engrais contenant des phosphates et des eaux usées. Le Cd peut également pénétrer naturellement dans le sol par l'activité volcanique, les sols de schiste marin, l'érosion ou les aérosols de sel marin.
3. Le Cd est toxique et persistant dans le sol (la demi-vie estimée du Cd dans les sols varie de 15 à 1 100 ans). Le Cd est absorbé et bioaccumulé par les cacaoyers (*Theobroma cacao* L), ce qui entraîne dans certains cas des niveaux excessivement élevés dans les fèves de cacao. Des mesures peuvent par conséquent être requises pour prévenir la présence du Cd dans le sol et réduire son absorption.
4. On ne le trouve pas dans la nature à l'état pur. Son état d'oxydation le plus courant est +2, et on le trouve généralement associé au fer (Fe), au zinc (Zn), au plomb (Pb), au phosphore (P), au magnésium (Mg), au calcium (Ca) et au cuivre (Cu) via sa « capacité d'échange cationique ». Les concentrations de Cd dans la solution du sol dépendent essentiellement de son pH, qui contrôle la solubilité et la mobilité du Cd. La plupart des métaux présents dans le sol tendent à être plus disponibles à un pH acide, ce qui augmente la disponibilité pour les plantes.
5. Une adsorption supérieure de Cd à la surface des particules du sol est souhaitable, dans la mesure où cela réduirait la mobilité de ce contaminant dans le profil du sol et, par voie de conséquence, son impact environnemental. La concentration de métaux lourds (Cd) dans la solution du sol et, par conséquent, sa biodisponibilité et sa mobilité, sont essentiellement contrôlés par les réactions d'adsorption et de désorption à la surface des colloïdes du sol. Les facteurs du sol qui affectent l'accumulation et la disponibilité des métaux lourds comprennent le pH, la texture, les matières organiques, les oxydes et hydroxydes de fer (Fe) et de manganèse (Mn), le zinc (Zn), les carbonates, la chlorinité et la capacité d'échange cationique.
6. Des teneurs élevées en chlorure dans les sols tendent à favoriser la formation de complexes de chlorure, ce qui diminue l'adsorption du Cd sur les particules du sol, augmentant ainsi la mobilité et la biodisponibilité du Cd.
7. Au fil du temps, l'évolution de nos connaissances sur la manière dont les divers systèmes de culture contribuent à la contamination des fèves de cacao par le cadmium ou l'atténuent pourrait permettre de développer des systèmes intégrés pour la gestion des niveaux de cadmium dans les fèves de cacao.
8. L'outil à greffer, en tant que stratégie génétique avec des variétés ayant une faible accumulation de cadmium, est une option viable dans divers types de sol présentant différents niveaux de Cd, mais il n'a été testé qu'expérimentalement pour réduire le Cd chez les cacaoyers. Des informations personnelles obtenues dans les zones de production du Pérou ont montré que les fèves de cacao exportées vers l'Europe sont des variétés croisées avec le cacao « Chuncho ». Leyva, C. 2019.
9. Pour atténuer les niveaux de Cd dans les fèves de cacao, il est crucial d'identifier les zones de culture du cacao ayant un taux élevé de Cd et de développer des stratégies spécifiques et générales pour aborder ce problème.

#### 2. CHAMP D'APPLICATION

10. Le champ d'application de ce Code d'usages consiste à fournir une orientation sur des pratiques recommandées pour la prévention et la réduction de la contamination des fèves de cacao par le Cd avant la plantation ou pour de nouvelles plantations et durant la phase de production jusqu'à la phase de récolte et d'après récolte, y compris durant le transport éventuellement impliqué, ou pour des plantations existantes de cacaoyers qui peuvent produire des fèves pendant 25 ans au maximum.

#### 3. DÉFINITIONS

**Le biocharbon (biocarbone)** est un sous-produit de la pyrolyse de la biomasse résiduelle.

**Fève de cacao** : la graine du fruit du cacao composée de l'épisperme (tégument), de l'embryon et du cotylédon.

**Pulpe ou mucilage** : substance aqueuse, mucilagineuse et acide dans laquelle les graines sont encastrées.

**Récolte et ouverture des fruits** : les fruits sont récoltés manuellement et ouverts en utilisant une faucille, machette ou un bâton de bois.

**Bioremédiation** : l'utilisation d'organismes vivants, principalement de micro-organismes, pour dégrader des contaminants environnementaux en des formes moins toxiques.

**Phytoremédiation** : un type de bioremédiation qui utilise des plantes pour supprimer, transférer, stabiliser ou détruire des contaminants dans le sol et dans la nappe phréatique.

**Émissions atmosphériques** : elles sont définies comme des matières gazeuses ou particulaires indésirables (Cadmium) relâchées dans l'atmosphère, en conséquence directe des activités de production, d'accumulation ou de consommation dans l'économie.

**Biodisponibilité** : la biodisponibilité d'un minéral dans la nutrition des plantes et des sols peut être définie comme son accessibilité aux processus métaboliques et physiologiques normaux, influencée par de nombreux facteurs, notamment la concentration totale et la spéciation des métaux, le pH, le potentiel d'oxydoréduction, la température, la teneur organique totale (fractions particulaire et dissoute) et la teneur en particules en suspension.

**Adsorption, absorption et désorption** : l'adsorption physique, chimique ou par échange du cadmium sur les particules du sol est un concept qui fait référence à l'attraction et à la rétention exercées par un corps à sa surface sur les ions, les atomes ou les molécules d'un corps différent. Le terme absorption fait référence à l'amortissement exercé par un corps sur une radiation qui le traverse ; à l'attraction développée par un solide sur un liquide afin que ses molécules pénètrent à l'intérieur de sa substance ; à la capacité d'un tissu ou d'une cellule de recevoir une matière venue de l'extérieur. La désorption est le processus d'élimination d'une substance absorbée ou adsorbée.

**Cachaza** : produit dérivé de la canne à sucre.

**Capacité d'échange cationique (CEC)** : une mesure de la capacité du sol à retenir des ions chargés positivement. Cette propriété des sols est très importante dans la mesure où elle influence la stabilité de la structure du sol, la disponibilité des nutriments, le pH du sol et sa réaction aux engrais et autres améliorants. Les composants des matières organiques et les minéraux argileux d'un sol ont à leurs surfaces des sites de charge négative qui adsorbent et retiennent les ions chargés positivement (les cations). Cette charge électrique est essentielle à l'apport de nutriments aux plants car de nombreux nutriments existent sous forme de cations Mg, K et Ca par force électrostatique.

**Conductivité électrique** : la conductivité électrique des métaux est le résultat du mouvement des particules chargées électriquement. Les atomes des éléments métalliques se caractérisent par la présence d'électrons de valence, c'est-à-dire d'électrons situés dans la couche externe d'un atome et libres de se déplacer. En outre, elle est désignée par le symbole  $\sigma$  et se mesure selon le Système international d'unités en siemens par mètre (S/m). La conductivité électrique des échantillons d'eau est utilisée comme indicateur de l'absence de sel, d'ions ou d'impuretés dans l'échantillon ; plus l'eau est pure, plus la conductivité est faible (plus la résistivité est élevée). Les mesures de conductivité dans l'eau sont souvent rapportées en tant que conductance spécifique, par rapport à la conductivité de l'eau pure à 25 °C.

**Processus de séchage** : séchage des fèves de cacao soit au soleil, soit dans des séchoirs mécaniques/solaires (ou une combinaison des deux), afin de réduire la teneur en humidité (moins de 8 %) et de les rendre stables pour l'entreposage.

**Fermentation** : processus de dégradation de la pulpe ou du mucilage et d'initiation de changements biochimiques dans le cotylédon par des enzymes et microorganismes inhérents à l'environnement de la plantation.

**Humus** : désigne le compost qui est obtenu de manière artificielle lorsque les déchets organiques sont décomposés par des organismes et des micro-organismes bénéfiques

**Amendements du sol** : ajout de toute matière dans le sol pour en améliorer les propriétés physiques et chimiques. L'application d'amendements dépend des caractéristiques des sols et peut inclure du compost, du carbonate de magnésium, de la vinasse, de la zéolite (minéraux qui se distinguent par leurs capacités hydratantes et, inversement, déshydratantes, adsorbants), du charbon de bois ou biocharbon, du sulfate de calcium, de la chaux, du cachaza, du sulfate de zinc, de la dolomite (carbonate de calcium et de magnésium), du lombricompost, de la canne à sucre, du tourteau de palmiste, de la roche phosphatée et d'autres matières organiques.

**Validation** : obtention de preuves qu'une mesure de contrôle ou une combinaison de mesures de contrôle, mise en œuvre de manière appropriée, est en mesure de contrôler le danger en vue d'un résultat spécifié.

**Échantillonnage** : procédure utilisée pour prélever ou constituer un échantillon. Les procédures d'échantillonnage empiriques ou ponctuelles sont des procédures d'échantillonnage qui ne s'appuient pas sur des statistiques et qui servent à prendre une décision sur le lot inspecté.

**Taille** : suppression annuelle à partir des arbres d'ombrage et des cacaoyers, de branches qui sont sèches, mortes ou déséquilibrées.

**Ombrage** : cultiver des cacaoyers avec des arbres d'ombrage afin de réduire la quantité de rayonnement et de vent qui atteint la culture. L'ombrage représente généralement plus ou moins 50 % durant les 4 premières années de la vie de la plante, après quoi le pourcentage d'ombre peut être réduit à 25 ou 30 %.

**Vinasse** : un produit dérivé de la production d'alcool à partir de la canne à sucre.

#### 4. PRATIQUES RECOMMANDÉES POUR LA PRÉVENTION ET LA RÉDUCTION DE LA CONTAMINATION PAR LE CADMIUM DANS LES FÈVES DE CACAO

##### 4.1 Contamination avant les semilles – nouvelles plantations

11. La prévention et la réduction du Cd dans le cacao doit commencer par l'analyse physico-chimique du sol et elles doivent faire partie intégrante des pratiques avant les semilles ou l'établissement d'une nouvelle plantation. Les paramètres d'analyse physique sont : Sable %, argile %, limon %, classe texturale. L'analyse chimique doit prendre en compte : le pH, le % de matière organique, le % de N total ; les ppm disponibles de P, K, Pb, les oxydes et hydroxydes de Fe, les carbonates de Mn, Cd et Zn ; les échangeables (cmol (+) /kg) de Ca, Mg, K, Na, Al et H ; la CEC, le % d'alcalinité échangeable, le % d'acidité échangeable et la saturation d'Al convenant aux agriculteurs, et il faut garder cela à l'esprit comme mesure de contrôle du CXC 49-2001 : Code d'usages concernant les mesures prises à la source pour réduire la contamination chimique des aliments.
12. Aucune recommandation spécifique sur les niveaux de Cd dans les zones de culture du cacao n'a été faite, mais une teneur de 1,4 mg/kg<sup>8</sup> a été considérée comme étant un niveau supérieur de Cd dans le sol pour la croissance d'autres cultures, et cette teneur pourrait être appliquée pour les nouvelles plantations de cacao. Les niveaux d'eau peuvent être surveillés pour déterminer s'ils constituent une source potentielle de Cd, par exemple s'ils sont plus élevés que les niveaux de fond en raison d'une contamination ponctuelle ; la limite supérieure du Cd dans l'eau pouvant être de 0,005 mg/lit. Néanmoins, la plus grande enquête nationale publiée en Équateur sur le Cd dans le cacao en termes de nombre d'arbres collectés (n=560) permet d'estimer les concentrations de Cd dans le sol, qui correspondent à des concentrations spécifiques dans les fèves de cacao. Les données montrent que, par exemple, pour garantir que les concentrations moyennes de cadmium dans les fèves de cacao ne dépassent pas sensiblement 1 mg Cd/kg, le cadmium du sol ne doit pas dépasser 0,4 mg Cd/kg si le pH du sol = 5,0. Si le pH du sol = 7, les concentrations de Cd dans le sol ne doivent pas dépasser 1,0 mg Cd/kg.
13. Bien que les avantages de l'agroforesterie soient connus, les données sur l'impact de l'agroforesterie comparée à la monoculture sur les teneurs en Cd sont plutôt préliminaires. Des études qui ont comparé systématiquement ou statistiquement l'agroforesterie à la monoculture n'ont trouvé aucune différence statistiquement significative concernant l'absorption du Cd dans les fèves de cacao.
14. Les espèces les plus utilisées sont les musaceae (bananes, moles et cambures) pour les ombres temporaires et les légumineuses tels que le pore ou le bucare (*Erythrina* sp.) et les guabas (Ingas) pour les ombres permanentes. D'autres espèces d'ombrage sont utilisées pour offrir des avantages économiques plus importants, comme les espèces exploitées pour leur bois (laurier, cèdre, acajou colombien (*Cariniana pyriformis*), cenizaro ou arbre à pluie et terminalia) ou les arbres fruitiers (citronnier, avocatier, sapotier, arbre à pain, dattier, etc.). Il est conseillé de planter des petits arbres, et d'utiliser des agrumes ou des arbres fruitiers pour les bordures des plantations de cacao.
15. Installer les plantations dans des zones loin des routes ou prendre des mesures afin de réduire l'exposition des plantations de cacao avec les gaz émis par la combustion des véhicules car ils peuvent contenir du Cd. De même, les plantations doivent être situées dans des zones éloignées des décharges dans les villes, des zones minières, des zones de fusion, des déchets industriels, des eaux usées et des eaux ménagères car elles peuvent être une source de Cd.
16. Éviter les sols inondés si les sources d'eau sont une source accrue de Cd.
17. Dans les nouvelles plantations, l'utilisation de cultures de protection de légumineuses pérennes doit être

<sup>8</sup> Décret suprême N° 011-2017-MINAM – Approbation des normes de qualité environnementale (NQE) pour les sols

envisagée. Les cultures de protection améliorent la matière organique du sol et peuvent protéger le sol de l'érosion et réduire la perte de nutriments, améliorant la productivité du sol grâce à une disponibilité accrue des nutriments essentiels et à une réduction de la biodisponibilité des métaux.

#### 4.2 De la production jusqu'à la phase de récolte

18. Il est important de connaître les sources et la répartition de Cd dans le sol. D'une manière générale, il convient de préciser que tout amendement inorganique ou organique appliqué aux cultures doit être préalablement analysé pour voir s'il contient du Cd, car, selon sa source, il peut contenir des niveaux de cet élément et deviendrait une source d'apport de cadmium dans les cultures. Les boues d'épuration et les cendres volantes présentent des concentrations élevées de Cd. Les engrais appliqués doivent répondre aux critères spécifiés en ce qui concerne les niveaux de Cd.
19. Les données suggèrent qu'il existe une corrélation positive entre les teneurs les plus élevées de Cd dans le sol (mesurées par des analyses de sol) et les teneurs élevées de Cd dans les tissus végétaux et les fèves de cacao. En outre, l'analyse de régression multivariée a montré que les concentrations de Cd des fèves augmentaient lorsque le Cd total du sol augmente.
20. Les analyses de caractérisation des sols pour les plantations de cacao doivent être menées par des laboratoires qui sont accrédités avec la norme ISO/IEC 17025:2017 reconnue dans le monde entier, en utilisant des méthodes validées qui incluent l'utilisation de matériaux de référence, normes et incertitudes associées, certifiés. En outre, il est très important d'effectuer des analyses du sol avec des méthodes reconnues au niveau international (par exemple, approuvées par le Codex Alimentarius), telles que la spectrométrie d'absorption atomique avec flamme (F-AAS), la spectrométrie d'émission optique à plasma à couplage inductif (ICP-OES), la spectrométrie d'absorption atomique par four graphite (GF-AAS) et la spectrométrie de masse à couplage inductif (ICP-MS). Ces méthodes comprennent des méthodes appropriées pour les agriculteurs locaux qui essaient d'exporter du cacao. Ces analyses ne portent pas seulement sur le Cd mais aussi sur d'autres nutriments. Il est important de préciser ici que les sols bien alimentés en nutriments sont moins susceptibles de bioaccumuler le Cd.
21. Le protocole d'échantillonnage de sol doit chercher à obtenir des échantillons représentatifs de chaque ferme, car la teneur en Cd pourrait être variable dans la même zone de production de cacao. Le protocole doit tenir compte des normes internationales pour le prélèvement d'échantillons dans des sols spécifiquement contaminés par des métaux.
22. Dans les zones où des fèves de cacao ont des teneurs en Cd relativement plus élevées, il est important de déterminer la salinité des sols et de l'eau d'irrigation (sels de chlorure de Cd), étant donné que l'absorption du Cd par les plantes augmente avec le chlorure. Il est par conséquent important de déterminer la conductivité électrique des sols et de l'eau, qui doit être inférieure à 2 mS/cm. Il semble que ces mesures ne seraient pas nécessaires s'il n'y a pas d'inquiétudes concernant les niveaux de Cd dans les fèves de cacao.

##### 4.2.1 Stratégies d'immobilisation du cadmium dans le sol

23. Lorsqu'il y a une déficience en Zn dans le sol, les niveaux de Zn dans le sol doivent être augmentés. Le Cd est en concurrence avec le Zn, et il est plus probable que le Cd pénètre dans la plante et s'accumule dans les fèves de cacao lorsque la concentration de Zn est faible. En outre, il est recommandé de préciser les teneurs critiques de Zn pour le cacao en se basant sur diverses méthodes d'analyse des échantillons, par exemple : DTPA, Olsen modifié afin d'améliorer l'applicabilité de la stratégie.
24. L'application de sulfate de zinc est réalisée conjointement à la fertilisation équilibrée, qui est exécutée chaque année dans les plantations de cacao, conformément aux exigences des cultures et du sol. Cependant, avec l'ajout de sulfate de zinc, une acidification du sol intervient, ce qui requiert l'ajout de calcaire.
25. Le chaulage est une pratique de gestion agronomique qui réduit l'absorption de Cd par les cacaoyers cultivés sur des sols très acides, et son ajout pourrait également améliorer la nutrition et la production des cacaoyers. Cependant, il est important de connaître la teneur en Cd de ces chaux car elles proviennent de mines et sont très variables ; tout dépend donc de l'origine des matières premières utilisées.
26. Les méthodes les plus efficaces développés jusqu'à aujourd'hui pour diminuer la biodisponibilité du Cd, consistent à chauler le sol lorsque le pH du sol est inférieur à 5,5. Lorsque le pH est supérieur à 5,5, il faut savoir comment le gérer.
27. Appliquer des doses limitées de chaux (3 t/ha/an) et de préférence de la dolomite  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  afin d'augmenter graduellement le pH et d'incorporer du Ca et du Mg, qui sont essentiels à la croissance du cacao et peuvent précipiter le Cd, diminuant ainsi sa biodisponibilité. Il convient d'éviter tout chaulage excessif.

28. De plus grandes quantités de matières organiques dans le sol réduisent l'absorption du Cd et peuvent contribuer à diminuer le Cd dans les fèves de cacao, selon des études expérimentales. L'utilisation d'engrais organiques tels que le lisier de bétail traité, le compost, etc. augmente la teneur en matières organiques des sols et en améliore l'activité microbiologique. Des niveaux de 3 à 4 % de matières organiques dans les plantations de cacao réduisent le cadmium dans les fèves de cacao.
  29. Les engrais phosphatés et la roche phosphorique sédimentaire peuvent contenir du Cd en tant qu'impureté. Néanmoins, le succès de la production de cacao dépend de l'ajout d'engrais phosphatés, car la teneur en phosphore des sols tropicaux est naturellement très limitée. Cependant, les producteurs doivent contrôler la quantité de Cd qu'ils utilisent dans les engrais phosphatés ou respecter les limites nationales fixées par les gouvernements. En outre, l'utilisation d'engrais organiques permet d'améliorer la teneur en phosphore du sol, alors que ces engrais présentent une biodisponibilité élevée du phosphore.
  30. En général, la formule pour les doses d'azote, phosphore et potassium (NPK) dans les engrais devant être appliquée à la culture du cacao varie en fonction de l'âge de la plante et des caractéristiques du sol. Il convient de vérifier l'analyse de métaux lourds avant l'application, pour s'assurer que la teneur en Cd est faible. Les sols bien alimentés en nutriments sont moins susceptibles de bioaccumuler le Cd.
  31. L'application d'amendements du sol (carbonate de magnésium ( $MgCO_3$ ), vinasse, zéolites, humus, charbon de bois, sulfate de calcium ( $CaSO_4$ ), cachaza et sulfate de zinc ( $ZnSO_4$ ), qui varie en fonction des caractéristiques du sol, peut aider à réduire les concentrations de Cd dans les fèves de cacao.
  32. La vinasse est une source de K qui favorise l'installation de champignons qui forment des mycorhizes dans les racines du cacaoyer, augmentant l'efficacité de la nutrition en P et immobilisant le Cd.
  33. La chaux et le tourteau de canne à sucre peuvent réduire des flux de Cd dans le profil du sol. Les zéolites représentent une autre option pour les sols très sablonneux et à texture argileuse. En outre, l'apatite (phosphate naturel) serait très coûteuse par rapport à l'utilisation du calcaire dolomitique pour augmenter le pH et réduire la phyto-disponibilité du Cd dans le sol.
  34. Il a été démontré que le biocharbon réduit la biodisponibilité du Cd dans les fèves de cacao. Le taux de réduction est comparable à celui du chaulage et a une influence supplémentaire à celle du chaulage. Cependant, le biocharbon est un amendement du sol coûteux et peut ne pas être rentable pour les producteurs de cacao.
  35. Le biocharbon, le compost et leur combinaison ont des effets significatifs sur les caractéristiques physicochimiques du sol, sur la disponibilité des métaux (Cd) et les activités enzymatiques dans un sol pollué par des métaux lourds. Par conséquent, ils atténuent la concentration de Cd dans le sol.
  36. Les géotypes identifiés comme ayant une faible bioaccumulation de Cd sont susceptibles d'être utilisés comme porte-greffes dans la production de matériel de propagation pour réduire l'absorption de Cd du sol. De plus, l'atténuation du Cd pourrait être faite en greffant des plantes avec des porte-greffes à faible teneur en cadmium et en obtenant de nouvelles variétés qui ne sont pas aussi enclines à l'absorption de Cd et en modifiant les sols pour réduire l'absorption de Cd par les plantes. Onze cultivars de la variété de cacao « Chunchu » de Cuzco, Pérou, avaient une concentration de Cd (mg/kg) allant de <0,05 à 0,11, la variété de Cacao « Chunchu » pouvait donc être utilisée pour le greffage. En outre, lors de la plantation de nouvelles plantations, il devra être recommandé de planter des variétés de cacaoyers qui sont moins sujets à l'absorption de cadmium.
  37. La souche *Streptomyces* sp. a une activité de bioremédiation, puisqu'elle réduit l'absorption de Cd dans les plantes de cacao. Ceci a été démontré sur une base expérimentale.
  38. Les légumes co-inoculés avec des bactéries favorisant la croissance des plantes résistant au Cd, comme les *Streptomyces* de la famille des Streptomycetaceae, pourraient être utiles dans la phytoremédiation de sols contaminés par le Cd et dans la biofertilisation.
- 4.2.2. **Prévenir une nouvelle contamination du sol par le cadmium**
39. Dans les zones où les niveaux de Cd dans le sol sont élevés, retirer du sol les résidus de taille car ils pourraient contenir du Cd qui sera libéré dans les couches supérieures du sol après décomposition. La pratique prescrirait que les résidus de taille soient retirés du champ.
  40. Éviter l'application de boues d'épuration
  41. Éviter l'enfouissement ou l'incinération des déchets ménagers, car environ 10 % des ordures sont constituées de métaux, dont le Cd. Leur enfouissement peut contaminer les eaux souterraines, tandis que leur incinération peut contaminer l'atmosphère en libérant des métaux volatils et en polluant ainsi les sols

42. Prendre des mesures au niveau des autorités nationales ou régionales pour limiter les principales activités industrielles polluantes à proximité des plantations de cacao, telles que les mines et les fonderies de métaux non ferreux, l'industrie métallurgique, la combustion du charbon et la fabrication d'engrais phosphatés.

#### 4.3 Phase d'après-récolte

43. L'égouttage du mucilage améliore la qualité sensorielle des fèves de cacao en cours de fermentation en réduisant leur acidité. Une étude de 0, 2, 4 et 6 heures sur l'effet du temps d'égouttage des fèves de cacao créole du Pérou a conclu que la meilleure durée d'égouttage, entraînant une fermentation supérieure à 80 %, était de 4 heures. Une autre thèse étudiant l'effet du temps d'égouttage dans l'hybride clonal CCN51 (fèves de cacao qui contiennent plus d'eau) de 0, 12, 24 et 36 heures a conclu que 36 heures était la meilleure durée avec  $86,00 \pm 9,63$  de fermentation et que l'égouttage de 12 heures avait un pourcentage de fermentation de  $83,83 \pm 1,48$ . Une étude expérimentale a démontré que l'égouttage de la pulpe ou du mucilage pendant 12 heures (durée plus longue que la normale) réduisait significativement la teneur en Cd dans les fèves de cacao d'une variété sans affecter la qualité physique ou organoleptique du cacao au moment de l'évaluation. Une étude expérimentale a démontré que l'égouttage de la pulpe ou du mucilage pendant 12 heures (durée plus longue que la normale) réduisait significativement la teneur en Cd dans les fèves de cacao de l'hybride clonal (cultivar) CCN51 sans affecter la qualité physique ou organoleptique du cacao au moment de l'évaluation.
44. Après le processus de fermentation, les fèves de cacao doivent être séchées sur des surfaces solides et propres pour éviter leur contamination par le sol.
45. Il convient de s'assurer que, lors de la fermentation, les fèves de cacao ne sont pas contaminés par les fumées ou les gaz émis par les séchoirs ou les véhicules.
46. Le processus de fermentation des fèves de cacao devrait être la pratique la plus importante que toute organisation exportatrice doit exécuter pour réduire les niveaux de Cd de leurs fèves de cacao.
47. Durant le stockage, il faut empêcher la contamination des fèves de cacao par d'éventuels déversements de carburant, gas d'échappement ou fumées.
48. Plus le processus de fermentation est long (80 %), moins les fèves de cacao contiennent de Cd. Cette affirmation est confirmée par une publication scientifique fiable et citée qui indique que les concentrations de Cd diminuent au fur et à mesure de la fermentation. Le Cd des fèves peut être réduit si le pH est suffisamment acidifié durant la fermentation.
49. La souche de *Saccharomyces cerevisiae* est l'une des souches qui interviennent dans la fermentation du cacao ; par conséquent, le fait d'augmenter sa population dans un tel processus pourrait améliorer l'absorption de Cd et la sécurité du cacao.

#### 4.4 Phase de transport

Afin de protéger le cacao contre l'humidité et la contamination par d'autres matériaux :

50. Recouvrir les zones de chargement/de déchargement pour les protéger de la pluie.
51. Veiller à ce que les véhicules soient bien entretenus et soigneusement nettoyés.
52. S'assurer que les bâches/couvertures sont propres et ne sont pas endommagées.
53. S'assurer que les conteneurs n'ont pas été utilisés pour des produits chimiques ou des substances nocives, qu'ils sont bien entretenus et propres.
54. Veiller à ce que le taux d'humidité soit aussi bas que possible en utilisant des conteneurs ventilés si possible et des doublures en carton/papier kraft, avec des sacs de gel de silice.
55. Pour le cacao en sac : charger les sacs avec précaution et les recouvrir de matériaux permettant d'absorber la condensation.
56. Pour le cacao en vrac : utiliser si possible une doublure en plastique scellable et veillez à ce qu'elle ne touche pas le toit du conteneur.
57. S'assurer que les bouches d'aération dans les conteneurs ne soient pas obstrués.
58. Veiller à ce que le cacao ne soit pas exposé à des fluctuations de température ni stocké à proximité de matières nocives.

**APPENDICE II**  
**DOCUMENT CONTEXTUEL**  
**(Pour information)**

**INTRODUCTION**

1. Le cadmium (Cd) est un métal lourd qui pénètre principalement dans l'environnement par le biais d'activités anthropiques telles que le traitement des minerais, la combustion de combustibles et de déchets, et l'application d'engrais contenant des phosphates et des eaux usées. Le cadmium peut également pénétrer naturellement dans le sol par l'activité volcanique et l'érosion ou par les aérosols de sel marin. On ne le trouve pas dans la nature à l'état pur. L'activité volcanique est la principale source naturelle de rejet de Cd dans l'atmosphère (U.S.E.P.A citée par Sarabia, 2002), les roches sédimentaires et les phosphates marins étant d'autres sources naturelles de ce métal. Son état d'oxydation le plus courant est +2, et son affinité chimique l'associe au fer (Fe), au zinc (Zn), au plomb (Pb), au phosphore (P), au magnésium (Mg), au calcium, (Ca) et au cuivre (Cu) via sa capacité d'échange cationique. Les concentrations de Cd disponible dans le sol dépendent essentiellement de son pH, qui contrôle sa solubilité et sa mobilité. Le Cd est un métal lourd toxique pour les êtres biotiques, est persistant dans le sol et sa biodisponibilité varie en fonction des propriétés du sol. Le Cd est absorbé et bioaccumulé par les cacaoyers (*Theobroma cacao* L), ce qui entraîne dans certains cas des niveaux excessivement élevés dans les fèves de cacao. Des mesures sont par conséquent requises pour réduire son absorption dans les sols.
2. Une adsorption supérieure du Cd à la surface des particules du sol est souhaitable, dans la mesure où cela réduirait la mobilité de ce contaminant dans leur profil et, par voie de conséquence, son impact sur l'environnement. La concentration de métaux lourds (Cd) dans la solution du sol et, par conséquent, sa biodisponibilité et sa mobilité, sont essentiellement contrôlées par les réactions d'adsorption et de désorption à la surface des colloïdes du sol (Kabata-Pendias & Pendias, 2001). Parmi les facteurs d'un sol qui affectent l'accumulation et la disponibilité des métaux lourds, Miliarium (2009), cité par Cargua (2010), mentionne : le pH, la texture, les matières organiques, les oxydes et hydroxydes de Fe et de Mn, les carbonates, la salinité et la capacité d'échange cationique. Singh et Oeste, 2001, cités par Carrillo, M. (2010), mentionnent que les techniques d'immobilisation des métaux lourds dans les sols, essentiellement basées sur le phénomène d'adsorption, dépendent de la nature, de la concentration et de l'état physico-chimique du contaminant et des caractéristiques du sol. En outre, le processus biogéochimique qui contrôle la mobilité et la disponibilité du cadmium dans le sol dépend des mécanismes de précipitation-dissolution, chélation-dissociation-complexation, minéralisation-assimilation, protonation-déprotonation, de la formation de ligands métallo-organiques et de la réaction d'oxydo-réduction. De la même manière, la relative importance de chaque processus dépend du type de sol et de son pH, de sa température, de ses taux d'humidité et de matières organiques et des effets de la rhizosphère.
3. Gutiérrez E. et León C., 2017 rapportent que la Confédération allemande des confiseurs (BDSI) a contacté l'ambassade de Colombie en Allemagne pour l'informer du problème des résidus de métaux lourds dans le cacao et, notamment, de la présence de Cd dans les importations d'Amérique Latine, recommandé la détermination d'un seuil de cadmium dans les terres cultivées et les fèves de cacao et conclu que, si la teneur en Cd des fèves dépasse 0,5 mg/kg, elle recommandait d'étudier les origines du Cd dans les cultures afin de prendre les mesures nécessaires.
4. Le *Code d'usages concernant les mesures prises à la source pour réduire la contamination chimique des aliments* (CXC 49-2001) rapporte que l'avantage de l'élimination ou de la correction de la contamination des contaminants chimiques environnementaux (dont le Cd dans le cacao) à leur source est que cette approche préventive est plus efficace pour réduire ou éliminer le risque d'effets indésirables sur la santé, requiert moins de ressources pour contrôler les aliments et évite le rejet de produits alimentaires. Il souligne par ailleurs qu'il est important de s'intéresser à toute la chaîne de production, de transformation et de distribution, dans la mesure où l'innocuité et la qualité des aliments à d'autres égards ne sauraient être « inspectées » en fin de chaîne.
5. En 2008, le ministère de l'environnement du Pérou, par le biais du décret suprême n° 002-2008-MINAM approuve les « Normes nationales pour la qualité de l'eau » et décrète, dans ses paramètres inorganiques pour l'irrigation des légumes et des boissons animales, une valeur de 0,005 mg/L pour le Cd.
6. Résolution ministérielle du Pérou. Le Ministère de l'Agriculture et de l'Irrigation a approuvé, 2018. via la R.M. n° 0451-2018-MINAGRI <http://minagri.gob.pe/portal/resoluciones-ministeriales/rm-2018?start=65>, le document intitulé « Directives sur l'échantillonnage pour la détermination des teneurs en Cd des sols, des feuilles, des grains et des produits du cacao », qui vise à établir des méthodes de référence pour l'échantillonnage du cadmium dans les sols, les feuilles, les fèves et les produits dérivés du cacao dans un langage uniforme, conformes aux protocoles nationaux et internationaux, qui permettent d'obtenir, au niveau

national, une référence officielle dans les différents établissements publics et privés, dans le but de pouvoir préparer de manière adéquate les mesures de réduction et de contrôle du cadmium dans les zones où il a été vérifié que les concentrations dans les fèves de cacao sont supérieures aux seuils établis dans les normes nationales et internationales.

Ce document a été préparé dans le cadre de la mise en œuvre de la Stratégie de coopération nationale de l'Institut interaméricain de coopération pour l'agriculture (EIP-IICA), avec les opinions approuvées des institutions qui font partie du « Groupe technique national sur le cadmium dans le cacao » intégré par la Direction générale de l'agriculture (DGA), la Direction générale des affaires environnementales et agraires (DGAAA), l'Autorité nationale de l'eau (ANA), le Service national de la santé agraire (SENASA) et l'Institut national de l'innovation agraire (INIA) du Ministère de l'Agriculture et de l'Irrigation du Pérou, avec la participation de la Direction générale de la santé environnementale (DIGESA – Ministère de la Santé du Pérou), et qui spécifie les éléments clés de l'échantillonnage du Cd dans les sols, les feuilles des plantations de cacao, les fèves de cacao, l'eau des zones de plantations de cacao, les produits dérivés du cacao (chocolat, pâte et poudre de cacao), ainsi que l'accréditation des laboratoires et des méthodes d'analyse des entités nationales ou internationales.

7. Cette Résolution ministérielle présente les facteurs qui déterminent l'absorption du Cd par les plantes, telle que représentée ci-dessous :

**Tableau 1. Facteurs édaphiques et des cultures qui déterminent l'absorption de Cd par les plantes :**

Facteurs	Effet sur l'absorption du cadmium par les plantes
La liste des facteurs édaphiques comprend la texture et l'activité microbiologique du sol.	
1. pH	L'absorption augmente lorsque le pH diminue (sols acides)
2. Salinité du sol	L'absorption augmente avec la salinité.
3. Quantité de cadmium	L'absorption augmente avec la concentration de Cd
4. Micronutriments	Une déficience en zinc et en Mn augmente l'absorption
5. Macronutriments	Peuvent augmenter ou réduire l'absorption
6. Température	De hautes températures augmentent l'absorption
Facteurs des cultures	
7. Espèces et cultivars	Légumes > Racines > Céréales > Fruits Signification : Les légumes absorbent plus que les racines, qui absorbent plus que les céréales, qui absorbent plus que les fruits.
8. Tissu de la plante	Feuilles > grains > fruits et racines comestibles
9. Age des feuilles	Vieilles feuilles > jeunes feuilles

Source : (McLaughlin, Mike. 2016)

Les matières organiques présentes dans le sol ont également une influence : plus le sol en contient, moins il absorbe. Le cacao des systèmes d'agroforesterie peut présenter des concentrations moindres en Cd (Gramlich 2017), mais de plus amples travaux devront être réalisés pour le confirmer.

8. John, D. et Leventhal, S. (1995), citant McKinney et Rogers (1992), ont mentionné que l'un des métaux présentant un intérêt majeur pour les études de biodisponibilité de l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis (EPA) était le cadmium. John et Leventhal ont également souligné que la bioaccumulation des métaux par le biote dans les eaux de surface et par les plantes et les animaux dans les environnements terrestres peut avoir des effets néfastes sur l'homme. En outre, leur section intitulée Métaux spécifiques d'intérêt – Cadmium, souligne :
- Le potentiel d'oxydo-réduction des systèmes sédiments-eau exerce un contrôle sur l'association chimique des particules du Cd, tandis que le pH et la salinité affectent la stabilité de ses diverses formes (Kersten 1988).

- Dans les environnements anoxiques, presque toutes les particules du Cd sont complexées par la matière organique insoluble ou liées aux minéraux sulfurés.
  - La greenockite (CdS), qui est chimiquement du sulfure de cadmium, a une solubilité extrêmement faible dans des conditions réductrices, ce qui diminue la biodisponibilité du Cd.
  - L'oxydation des sédiments réduits ou l'exposition à un environnement acide entraîne la transformation du Cd insoluble lié aux sulfures en formes plus mobiles et potentiellement biodisponibles d'hydroxyde, de carbonate et d'échange (Kersten, 1988).
  - Des études sur les sédiments lacustres et fluviaux indiquent que la plupart du cadmium est lié au site échangeable, à la fraction carbonatée et aux minéraux d'oxyde de fer et de manganèse, qui peuvent être exposés aux changements chimiques à l'interface sédiments-eau et sont susceptibles d'être remobilisés dans l'eau (Schintu et autres, 1991).
  - Dans l'eau oxydée, quasi neutre, le CdCO<sub>3</sub> limite la solubilité du Cd<sup>2+</sup> (Kersten, 1988).
  - Dans une rivière polluée par les mines de métaux communs, le cadmium était le métal le plus mobile et le plus potentiellement biodisponible, et il était principalement éliminé par les minéraux carbonatés non détritiques, la matière organique et les minéraux d'oxyde de fer et de manganèse (Prusty et autres, 1994).
  - Des teneurs élevées en chlorure tendent à favoriser la formation de complexes de chlorure, ce qui diminue l'adsorption du Cd sur les sédiments, augmentant ainsi la mobilité du Cd (Bourg, 1988) et diminuant la concentration de Cd<sup>+2</sup> dissous et la biodisponibilité (Luoma, 1983).
9. Smolders (2001), qui a examiné les facteurs affectant le transfert du cadmium du sol et de l'air vers les plantes, a conclu que les concentrations de Cd dans les cultures sont fortement influencées par les propriétés du sol qui régissent la disponibilité du Cd dans le sol. Même à des concentrations de fond de Cd dans le sol, il est probable que la concentration de Cd dans les cultures dépasse les limites commercialisables. Cette situation a été constatée dans des sols présentant une salinité due aux chlorures et une carence en Zn, ainsi que dans des cultures telles que les graines de tournesol et les grains de blé dur qui contiennent généralement des concentrations élevées de Cd. Le Cd peut entrer directement dans la chaîne alimentaire humaine par le biais de dépôts provenant de l'air. La preuve expérimentale examinée ici, indique que cette voie peut être ignorée dans des zones avec de faibles taux de dépôt de Cd (<2 g Cd·ha<sup>-1</sup>·an<sup>-1</sup>, typique de la plupart des zones rurales en Europe). Cependant, le Cd atmosphérique peut être une source dominante de Cd dans les cultures si le dépôt de Cd est manifestement élevé (>10 g Cd·ha<sup>-1</sup>·an<sup>-1</sup>), une situation susceptible de se produire aux environs de fonderies pyrométallurgiques.
10. Schneider, L. (2016) a réalisé une expérience de terrain dans le cadre de ses recherches sur l'application de la chaux en utilisant des cacaoyers de 5 à 6 ans (CCN-51) dans la province de Tocache (Pérou). Il a montré que l'application de la chaux en surface dans les plantations de cacao est réalisable et peut apporter des changements positifs dans les propriétés du sol, même dans une période de temps assez courte. Le chaulage a permis une augmentation du pH de la terre végétale et une diminution de la disponibilité du Cd par rapport aux témoins.
11. Barraza et al (2019), dans la première enquête pilote employant des mesures combinées d'isotopes et de concentration de Cd pour étudier les systèmes sol-cacao, ont analysé 29 échantillons de sols, d'amendements du sol et d'organes de cacaoyers provenant d'exploitations biologiques en Équateur qui récoltent trois cultivars de cacao distincts, et ont conclu tout d'abord que la plupart des échantillons de sol de 0 à 80 cm de profondeur présentent des valeurs de  $\delta^{114/110}\text{Cd}$  d'environ -0,1 0/00 à 0 0/00. Cependant, un échantillon de 60-80 cm est appauvri en Cd et isotopiquement plus léger, en accord avec une signature d'altération météorologique. En outre, deux sols supérieurs de 0-5 cm présentent des concentrations élevées de Cd couplées à des compositions isotopiques de Cd lourdes de  $\delta^{114/110}\text{Cd} \approx 0,2\%$ . Cette signature isotopique distincte suggère qu'il est peu probable que l'enrichissement provienne d'engrais de phosphore organiques ou minéraux, d'apports atmosphériques naturels ou anthropiques ou de sédiments d'un cours d'eau voisin. Au contraire, les ajouts de Cd proviennent probablement de la décomposition de la litière des arbres. Des études supplémentaires sont toutefois nécessaires pour déterminer si les enrichissements en Cd reflètent l'utilisation récente de la litière des arbres comme engrais dans les plantations de cacao ou bien l'accumulation naturelle de Cd à partir de la matière des arbres en décomposition sur une échelle de temps beaucoup plus longue. Deuxièmement, les fèves des trois cultivars de cacao étudiés semblent présenter des différences dans les signatures isotopiques du Cd. Plus précisément, les fèves provenant de plantes hybrides CCN-51 ne présentent aucun pas de fractionnement isotopique du Cd résoluble par rapport aux feuilles, tandis que le cultivar Nacional, relativement pur, a des fèves qui présentent un  $\delta^{114/110}\text{Cd}$  inférieur à celui des feuilles, avec des valeurs  $\Delta^{114/110}\text{Cd}_{\text{fève-feuille}}$  de -0,34 0/00 et -0,40 0/00. En tant que telles, les données peuvent suggérer que les cultivars Nacional et CCN-51 diffèrent

dans les mécanismes moléculaires qui sont employés pour la translocation et la séquestration du Cd entre les feuilles, les cabosses et les fèves de cacao. En résumé, ces résultats suggèrent que d'autres études couplées sur les isotopes et la concentration du Cd, plus complètes, doivent être menées pour confirmer si ces analyses fournissent effectivement des contraintes utiles sur l'origine et le cycle du Cd dans les systèmes sol-cacao et la répartition du Cd dans la plante de cacao. Le consultant du SENASA péruvien suggère qu'en général, il pourrait y avoir des différences entre les fèves de cacao indigènes et les fèves hybrides CCN-51.

12. Le tableau 2 ci-dessous rapporte les facteurs qui affectent la biodisponibilité du Cd dans les fèves de cacao.

**Tableau 2. Biodisponibilité du cadmium dans les fèves de cacao**

Facteur	Effet sur la biodisponibilité du cadmium dans les fèves de cacao
<p>Nutrition du sol et carence en éléments nutritifs spécifiques.</p> <p>L'analyse du sol doit indiquer les niveaux appropriés pour la fertilisation et apporter les corrections correspondantes ; il y a également un effet de dilution plus important.</p>	<p>Les sols bien alimentés en nutriments sont moins susceptibles de bioaccumuler le Cd.</p>
<p>Minéraux d'oxydes et d'hydroxydes Fe et Mn</p>	<p>Ils éliminent la biodisponibilité potentielle du Cd. Ils sont contrôlés principalement par des réactions d'adsorption et de désorption à la surface des colloïdes du sol.</p>
<p>pH du sol</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plus l'acidité est élevée, plus le niveau d'accumulation de Cd est élevé.</li> <li>• réduit la biodisponibilité du cadmium et son assimilation par les tissus</li> </ul>
<p>Teneur en matière organique (M.O.)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réagit avec le Cd pour former des chélates et le Cd reste indisponible pour les plantes.</li> <li>• La matière organique permet une capacité d'échange cationique plus élevée.</li> <li>• Dans des conditions acides, la M.O. du sol régit la disponibilité du cadmium</li> <li>• Elle fournit du carbone aux microorganismes du sol en augmentant leur activité enzymatique, volatilisant ainsi le Cd.</li> <li>• Possède des sites chargés négativement sur leurs surfaces qui absorbent et retiennent les ions chargés positivement (cations) par force électrostatique</li> </ul>
<p>Chaulage</p> <p>Appliquer avant le semis en fonction des caractéristiques du sol et à renouveler tous les 2 ou 3 ans.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmente le pH dans la partie supérieure du sol</li> <li>• Diminue la disponibilité du Cd</li> <li>• Les méthodes les plus efficaces développés jusqu'à aujourd'hui pour diminuer la biodisponibilité du Cd consistent à chauler le sol lorsque le pH du sol est inférieur à 5,5.</li> <li>• À petites doses (2 à 3 MT/ha de dolomite), augmente graduellement le pH et permet d'incorporer le calcium et le magnésium essentiels à la croissance du cacao et de précipiter le cadmium.</li> </ul>
<p>Biocharbon, compost et une combinaison de ces derniers.</p> <p>Ces amendements sont des sources organiques (fournissent du carbone). Le biocharbon a une plus grande surface</p>	<p>Ils ont des effets significatifs sur la disponibilité des métaux lourds (Cd) dans les sols fortement contaminés, sur les caractéristiques physico-chimiques du sol et sur les activités enzymatiques dans les sols contaminés par des métaux lourds.</p>

Facteur	Effet sur la biodisponibilité du cadmium dans les fèves de cacao
spécifique et une plus grande capacité à retenir les métaux lourds.	
Texture du sol	Accumulation plus importante dans les textures moyennes (chaux), plus importante que dans les textures fines (argiles) et plus importante que dans les textures épaisses (sable).
Teneur élevée en chlorure	Tend à améliorer la formation de complexes de chlorure, ce qui diminue l'absorption de Cd dans les sédiments en augmentant la mobilité du Cd et en diminuant la concentration et la biodisponibilité de Cd <sup>+2</sup>
Eau oxydée, presque neutre	Limite la solubilité de Cd <sup>+2</sup>
Le carbonate de Cd	Limite la solubilité de Cd <sup>+2</sup>
Greenockite (CdS), chimiquement sulfure de cadmium	Comme elle a une solubilité extrêmement faible dans des conditions réductrices, sa biodisponibilité diminue.
Texture du sol	Accumulation plus importante dans les textures moyennes (limon), plus importante dans les textures fines (argile) et plus importante dans les textures grossières (sable).
Cultures de feuilles	Ce sont des accumulateurs de Cd
Biocharbon, compost et une combinaison des deux.	Ils ont des effets importants sur la disponibilité des métaux lourds dans les sols fortement contaminés
Fermentation et pH	Plus le processus de fermentation est long (80 %), moins les fèves de cacao contiennent de Cd. Le Cd dans les fèves de cacao peut être réduit si pendant la fermentation le pH était suffisamment acidifié.
Minéraux d'oxydes de fer et de manganèse	Éliminent la biodisponibilité potentielle du Cd
Variétés de cacao. Stratégie génétique pour le greffage	Plusieurs génotypes de cacao présentent une faible bioaccumulation du Cd. Avec des variétés à faible accumulation de Cd, c'est une option viable pour la propagation.
Nutrition du sol	Les sols bien alimentés en nutriments sont moins susceptibles de bioaccumuler le Cd.
Couverture par des cultures de légumineuses pérennes	Ces cultures améliorent la matière organique du sol, protègent contre l'érosion et réduisent la perte de nutriments, améliorant ainsi la productivité du sol en réduisant la biodisponibilité du Cd.
La concentration de l'état physique et chimique du contaminant dans le sol	Le processus biogéochimique qui contrôle la mobilité et la disponibilité du Cd dans le sol dépend des mécanismes de précipitation-dissolution, chélation-dissociation-complexation, minéralisation-assimilation, protonation-déprotonation, de la formation de ligands métallo-organiques et de la réaction d'oxydo-réduction.
Amendements de sol (MgCO <sub>3</sub> , vinasse, zéolites, humus, charbon de bois, CaSO <sub>4</sub> , cachaza et ZnSO <sub>4</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En fonction des caractéristiques du sol, ils peuvent servir à diminuer les concentrations de Cd dans les fèves de cacao.</li> <li>• La vinasse favorise l'installation de champignons qui forment des mycorhizes dans les racines du cacaoyer, augmentant l'efficacité de la nutrition en P et immobilisant le Cd.</li> </ul>

Facteur	Effet sur la biodisponibilité du cadmium dans les fèves de cacao
Contamination géologique naturelle	La présence de cacaoyers dans des zones proches de centres miniers ou volcaniques influence la bioaccumulation du Cd.
Engrais	Les engrais phosphorés appliqués selon l'analyse du sol peuvent être utiles pour augmenter la croissance et ainsi diluer l'augmentation du Cd dans les plantes.
Cd total	Le Cd total dans le sol n'est pas pertinent, mais le cadmium disponible est plus important.
Capacité d'échange cationique	Elle réduit la phyto-disponibilité du Cd, c'est la surface des oxydes de Fe et Mn et la capacité de chélation de la matière organique qui adsorbe le Cd et réduit la phyto-disponibilité. Les argiles des sols dont la CEC est supérieure sont généralement revêtues d'oxydes hydratés de Fe et de Mn, de sorte que les argiles sont corrélées avec l'adsorption du Cd.
Facteurs du sol, notamment : pH, texture, matière organique, oxydes et hydroxydes de Fe et Mn, carbonates, salinité et capacité d'échange cationique.	Affectent l'accumulation et la disponibilité du Cd
Réactions d'absorption et de désorption à la surface des colloïdes du sol	La concentration de Cd dans la solution du sol, sa biodisponibilité et sa mobilité sont contrôlées
La concentration totale, la spéciation (formes physiques ou chimiques) des métaux, la minéralogie, le pH, le potentiel d'oxydo-réduction, la température, le contenu organique total, le volume d'eau, le transport par le vent, la vitesse de l'eau, la durée et la disponibilité de l'eau, en particulier dans les environnements arides et semi-arides, le transport par le vent et l'élimination de l'atmosphère par les précipitations ; nombre de ces facteurs varient selon les saisons et le temps, et sont interdépendants.	Ces facteurs prédisposent l'accessibilité d'un nutriment minéral aux processus métaboliques et physiologiques normaux dans les eaux de surface et souterraines, les sédiments et l'air affectent la biodisponibilité du Cd.

Source : préparé par le GTE d'après les références révisées

## 2. DÉFINITIONS

**Pousses** : bourgeon, scion ou tige qui repousse dans les plants de cacao.

**Fève de cacao** : la graine du fruit du cacao composée de l'épisperme (tégument), de l'embryon et du cotylédon.

**Cabosse de cacao** : le péricarpe du fruit du cacao qui découle de la paroi mûrie de l'ovaire d'un fruit.

**Épisperme ou tégument** : la couche protectrice de la graine également appelée coque lorsqu'elle est séchée. La plus externe des deux couches qui constitue le tégument s'appelle la testa.

**Pulpe ou mucilage** : substance aqueuse, mucilagineuse et acide dans laquelle les graines sont encastrées.

**Récolte et ouverture des fruits** : les fruits sont récoltés manuellement et ouverts en utilisant une faucille, machette ou un bâton de bois.

**Aérosols de sel marin** : il s'agit des aérosols naturels les plus omniprésents dans la région océanique. Les aérosols sont l'un des principaux composants déterminant pour le forçage radiatif du système terrestre. Des mesures extensives révèlent que les processus associés à l'éclatement de la calotte glaciaire et aux vagues déferlantes, génèrent principalement des aérosols de sel marin. De plus, O'Dowd Colin D et de Leeuw Gerrit (2007) ont conclu qu'en termes d'aérosol marin primaire, des études ont confirmé un flux important de particules d'embruns marins submicroniques, jusqu'à des tailles de 10 nm et il est clair que, comme la vitesse du vent, la température de surface de la mer affecte également la fonction de source physique des embruns marins. En termes de formation d'aérosol marin secondaire, des avancées significatives identifient une production de particules, au moins dans les zones côtières, où les oxydes d'iode sont considérés comme l'espèce dominante conduisant à la production de particules. Les contributeurs de croissance peuvent également être des produits d'oxydation d'isoprène et des acides sulfuriques.

**Bioremédiation** : il s'agit de l'utilisation d'organismes vivants, principalement des micro-organismes, pour dégrader des contaminants environnementaux en des formes moins toxiques.

**Phytoremédiation** : il s'agit d'un procédé de bioremédiation qui utilise divers types de plantes pour supprimer, transférer, stabiliser ou détruire des contaminants dans le sol et dans la nappe phréatique.

**Émissions atmosphériques** : elles sont définies par le Système de comptabilité économique et environnementale (SEEA) des Nations unies comme des matières gazeuses ou particulaires indésirables relâchées dans l'atmosphère, en conséquence directe des activités de production, d'accumulation ou de consommation dans l'économie.

**Traçabilité** : il s'agit de la capacité de suivre le mouvement d'un aliment au travers de phases spécifiques de production, transformation et distribution, à l'aide de registres.

**Géodisponibilité** : la géodisponibilité d'un élément ou composé chimique d'un matériau terrestre est cette portion de son contenu total qui peut être libérée vers la surface ou à proximité de la surface (ou biosphère) par des procédés mécaniques, chimiques ou biologiques naturels.

**Adsorption, absorption et désorption** : l'adsorption physique, chimique ou par échange est un concept qui fait référence à l'attraction et à la rétention exercées par un corps à sa surface sur les ions, les atomes ou les molécules d'un corps différent. Le terme absorption fait référence à l'amortissement exercé par un corps sur une radiation qui le traverse ; à l'attraction développée par un solide sur un liquide afin que ses molécules pénètrent à l'intérieur de sa substance ; à la capacité d'un tissu ou d'une cellule de recevoir une matière venue de l'extérieur. La désorption est le processus d'élimination d'une substance absorbée ou adsorbée.

**Capacité d'échange cationique (CEC)** : il s'agit d'une mesure de la capacité du sol à retenir des ions chargés positivement (ou cations). Cette propriété des sols est très importante dans la mesure où elle influence la stabilité de la structure du sol, la disponibilité des nutriments, le pH du sol et sa réaction aux engrais et autres améliorants (Hazleton et Murphy, 2007). Les composants des matières organiques et les minéraux argileux d'un sol ont à leurs surfaces des sites de charge négative qui adsorbent et retiennent les ions chargés positivement (les cations) par leur force électrostatique. Cette charge électrique est essentielle à l'apport en nutriments des plantes, car de nombreux nutriments existent sous forme de cations (tels que le magnésium, le potassium et le calcium).

**Réaction d'oxydoréduction** : des réactions d'oxydation et de réduction qui se produisent simultanément et qui sont connues pour être inséparables : lorsqu'un atome perd un électron, l'autre gagne un électron, complétant de ce fait le cycle d'oxydoréduction.

**Réaction de complexation** : il s'agit d'une réaction qui forme un « complexe ». De plus, la réaction entre un cation et un ou plusieurs anions est très importante dans les systèmes de sol. Les complexes métalliques sont des espèces stables qui sont moins susceptibles de participer aux réactions de sorption, de précipitation et même d'oxydoréduction.

**Conductivité électrique** : la conductivité électrique des métaux est le résultat du mouvement des particules chargées électriquement. Les atomes des éléments métalliques se caractérisent par la présence d'électrons de valence, c'est-à-dire d'électrons situés dans la couche externe d'un atome et libres de se déplacer. En outre, elle est désignée par le symbole  $\sigma$  et se mesure selon le Système international d'unités en siemens par mètre (S/m). La conductivité électrique des échantillons d'eau est utilisée comme indicateur de l'absence de sel, d'ions ou d'impuretés dans l'échantillon ; plus l'eau est pure, plus la conductivité est faible (plus la résistivité est élevée). Les mesures de conductivité dans l'eau sont souvent rapportées en tant que conductance spécifique, par rapport à la conductivité de l'eau pure à 25 °C.

**Processus de séchage** : séchage des fèves de cacao soit au soleil, soit dans des séchoirs mécaniques/solaires (ou une combinaison des deux), afin de réduire la teneur en humidité et de les rendre stables pour l'entreposage.

**Fermentation** : processus de dégradation de la pulpe et d'initiation de changements biochimiques dans le cotylédon par des enzymes et microorganismes inhérents à l'environnement de la plantation.

**Amendements du sol** : Ils font référence à l'ajout de toute matière dans le sol pour en améliorer les propriétés physiques et chimiques. L'application d'un amendement dépend des caractéristiques du sol. Les amendements rapportés dans les études pour l'élaboration du présent Code d'usages sont les suivants : compost (fait référence à l'humus qui est obtenu de façon artificielle lorsque des déchets organiques sont décomposés par des organismes et microorganismes bénéfiques), charbon de bois ou biocharbon, carbonate de magnésium, vinasse (produit dérivé de la production d'alcool de canne à sucre), zéolites (minéraux qui se distinguent par leurs capacités hydratantes et, inversement, déshydratantes, adsorbants), sulfate de calcium, chaux, cachaza (produit dérivé de la canne à sucre), sulfate de zinc, dolomite (carbonate de calcium et de magnésium), vermicompost, canne à sucre, tourteau de palmiste, roche phosphatée, matière organique.

**Validation** : obtention de preuves qu'une mesure de contrôle ou une combinaison de mesures de contrôle, mise en œuvre de manière appropriée, est en mesure de contrôler le danger en vue d'un résultat spécifié. (CAC/CXC 1-1969), avec le soutien de (CXG/GL 69-2008)

**Échantillonnage** : procédure utilisée pour prélever ou constituer un échantillon. Les procédures d'échantillonnage empiriques ou ponctuelles sont des procédures d'échantillonnage qui ne s'appuient pas sur des statistiques et qui servent à prendre une décision sur le lot inspecté (CXC 50-2004).

### Agriculture biologique

Le Comité du Codex sur l'étiquetage des denrées alimentaires, dans les *Directives concernant la production, la transformation, l'étiquetage et la commercialisation des aliments issus de l'agriculture biologique* (CXG 32-1999), a déclaré que l'agriculture biologique est un système de gestion de production holistique qui favorise et améliore la santé des agroécosystèmes, y compris la biodiversité, les cycles biologiques et l'activité biologique du sol. Elle met l'accent sur l'utilisation de pratiques de gestion plutôt que l'utilisation d'apports d'origine extérieure, en tenant compte du fait que les systèmes locaux doivent s'adapter aux conditions régionales. Ceci est accompli en utilisant, dans la mesure du possible, des méthodes culturales, biologiques et mécaniques, en opposition à l'utilisation de produits de synthèse, pour remplir toute fonction spécifique au sein du système. Un système de production biologique est conçu pour :

- a) renforcer la diversité biologique dans l'ensemble du système ;
- b) augmenter l'activité biologique du sol ;
- c) maintenir la fertilité du sol à long terme ;
- d) recycler les déchets d'origine végétale et animale afin de restituer les éléments nutritifs à la terre, ce qui minimise l'utilisation de ressources non renouvelables ;
- e) s'appuyer sur des ressources renouvelables dans des systèmes agricoles organisés localement ;
- f) promouvoir l'utilisation saine du sol, de l'eau et de l'air et réduire au minimum toutes les formes de pollution qui peuvent résulter des pratiques agricoles ;
- g) manipuler les produits agricoles en mettant l'accent sur des méthodes de transformation minutieuses afin de préserver l'intégrité biologique et les qualités vitales du produit à tous les stades ;
- h) s'établir sur toute exploitation existante par le biais d'une période de conversion, dont la durée appropriée est déterminée par des facteurs spécifiques au site tels que l'histoire des terres et le type de cultures et de bétail à produire.

### Taille

Rodriguez, T. (2002) cité par Torres, O. (2016) déclare qu'une taille annuelle est suffisante mais celle-ci doit être la plus complète possible. Il faut d'abord élaguer les arbres d'ombrage, puis les cacaoyers, auxquels on élimine les branches sèches, malades ou qui détériorent l'équilibre des cacaoyers. L'élimination des pousses et le nettoyage général doivent être effectués plusieurs fois par an, chaque fois que cela est nécessaire pour maintenir le bon développement et le bon état de l'arbre et de la récolte.

### Ombrage

Alvim (2000) cité par Torres, O. (2016) exprime que le cacao est typiquement une culture ombrophile. L'objectif de l'ombrage au début de la plantation est de réduire la quantité de radiation solaire qui atteint la culture, de réduire l'activité de la plante et de protéger la culture des vents qui peuvent lui nuire. Lorsque la culture est établie, le pourcentage d'ombre peut être réduit à 25 ou 30 %.

### 3. Stratégies pour la réduction du cadmium dans les fèves de cacao

13. Pour éviter la bioaccumulation de Cd dans les fèves de cacao, différentes stratégies doivent être mises en œuvre en tenant compte des particularités de chaque système agroécologique et de production (biologique, conventionnel ou de cacaoyers dans un système d'agroforesterie), afin de contribuer conjointement à réduire les concentrations de Cd dans les plantations qui en ont besoin.

3.1. Conformément aux travaux de recherche existants, il est recommandé ce qui suit :

#### 3.1.1. Dans les nouvelles plantations :

14. Installer les plantations sur des sols agricoles dont la teneur en Cd total est inférieure à 1,4 mg/kg (CCME du Canada, 1999 ; DS 011-2017 MINAM Pérou). Par ailleurs : Les limites de Cd du sol dans les nouvelles plantations doivent être liées aux propriétés du sol : le pH, le chlorure et le Zn du sol sont principalement importants dans la décision d'implantation ; les matières organiques, l'argile, les oxydes de Fe et de Mn sont moins importants.

15. Concevoir des plantations mixtes (agroforesterie avec différentes variétés de cacao et différents types d'ombrage (bananiers, ingas, etc.), adaptés à chaque environnement écologique, plutôt qu'une monoculture de cacao sans ombrage). Observation de la Suisse : Gramlich (2017) a démontré qu'il pouvait y avoir un effet positif, mais des recherches supplémentaires doivent être réalisées à ce sujet. L'association des exportateurs ADEX, Pérou, affirme que conformément à l'évaluation de fermes déjà en production, le système d'agroforesterie fonctionne bien les 2-3 premières années de plantation, car les jeunes plants se développent mieux à l'ombre, ce qui les aide à mieux résister aux périodes de sécheresse naturelle dans la région. Chez les plants adultes, l'ombrage favorise la prolifération de maladies (candidose et balai de sorcière).

Sources : <http://www.senasa.gob.pe/senasa/moniliasisdel-cacao/> ; [http://www.agrobanco.com.pe/wp-content/uploads/2017/07/010-f-cacao\\_CULTIVOS .pdf](http://www.agrobanco.com.pe/wp-content/uploads/2017/07/010-f-cacao_CULTIVOS.pdf)

16. Installer les plantations loin des routes ou prendre des mesures afin de prévenir le contact des plantations de cacao avec les gaz émis par la combustion des véhicules qui peuvent contenir du Cd. Les plantations doivent également être tenues éloignées des décharges ou des exploitations minières. À cet égard, dans les grandes plantations de cacaoyers, il est important de prendre en compte la disposition des routes, qui devront être espacées de 200 mètres (Technoguide SMIARC 2014) des plantations. L'USFDA observe que le trafic automobile n'est pas une source de Cd, les pneus étant peu chargés en Cd mais très riches en Zn, le risque de Cd est nul. Elle indique également que, pendant une période entre les années 1970 et l'an 2000 environ, certains radiateurs d'automobiles avaient des soudures au Cd, une utilisation à laquelle il a été mis un terme depuis. L'essence ne contenant pas de Cd, les gaz d'échappement ne sont pas une source de contamination par le Cd. L'OSAV suisse souligne que les sédiments provenant de l'eau contaminée de la zone minière pourraient devenir un problème à de longues distances du centre minier, en fonction de la taille de la particule émise et de la distance de dépôt depuis la source d'émission.

17. Dans les nouvelles plantations, l'utilisation d'une couverture de légumineuses vivaces devra être envisagée. Les cultures de protection améliorent la matière organique des sols. Les cultures de protection peuvent protéger les sols de l'érosion et réduire la perte de nutriments, améliorant ainsi la productivité des sols grâce à une plus grande disponibilité des nutriments essentiels et réduisant la toxicité des métaux lourds (observation de la FDA des États-Unis).

#### 3.1.2. Dans les plantations déjà installées : Stratégies d'immobilisation du Cd et de réduction de sa disponibilité dans le sol

18. Guo, G., et al (2006) mentionnent que les amendements organiques pour l'immobilisation du cadmium sont : la sciure d'écorce (provenant de l'industrie du bois), le chitosan (provenant de l'industrie de la mise en conserve de la chair de crabe), le fumier de volaille (provenant d'une ferme avicole), le fumier de bétail (provenant d'une ferme bovine), les coques de riz (provenant de la transformation du riz), les boues d'épuration, les feuilles et la paille. De même, ils abordent les amendements inorganiques suivants : chaux (provenant d'une usine de chaux), sel de phosphate (provenant d'une usine d'engrais), hydroxyapatite (provenant de la phosphorite), cendres volantes (provenant d'une centrale thermique) et scories (provenant d'une centrale thermique).

19. Augmentent les concentrations de Zn et de Mn dans le sol. Il a été démontré qu'en cas de déficience de ces micronutriments, le Cd est plus susceptible d'entrer dans la plante et dans les fèves de cacao. Les analyses scientifiques montrent que le déséquilibre entre les micronutriments et le Cd a un impact important sur l'absorption du Cd et sur la haute teneur en Cd des fèves de cacao. Pour les plantations « biologiques », il n'existe aucune source commerciale de Zn « biologique » en dehors des minerais, qui contiennent cependant du Cd à hauteur d'environ 1 % de leur teneur en Zn et ne doivent dès lors pas servir d'engrais « biologiques ». Il est possible que la pulvérisation de ZnSO<sub>4</sub> ou autres sels solubles de Zn ou de chélates sur les feuilles des cacaoyers

inhibent le transfert du Cd dans les fruits. Des essais sur champs ont démontré que la pulvérisation de Zn réduit la translocation du Cd vers plusieurs fèves de cacao. La possibilité de pulvériser du Zn pour inhiber le mouvement du Cd vers les fruits du cacao pourrait être évaluée dans le cadre d'essais sur champs réalisés sur plusieurs années. L'action de la pulvérisation de Zn sur les feuilles est distincte des possibles effets de l'emploi d'engrais au Zn pour inhiber l'absorption de Cd par les racines (notons une nouvelle fois la nécessité d'inclure du calcaire pour neutraliser l'acidification résultant de l'emploi de  $ZnSO_4$  ou autres sels de Zn sur les sols).

20. Appliquer des doses limitées de chaux (3 t/ha/an) et de préférence de la dolomite [ $CaMg(CO_3)_2$ ] afin d'augmenter graduellement le pH et d'incorporer du Ca et du Mg, qui sont essentiels à la croissance du cacao et peuvent précipiter le Cd, diminuant ainsi sa biodisponibilité. De plus amples recherches seront nécessaires sur le sujet car certaines variétés de cacao poussent bien sur des sols légèrement acides et pourraient être affectées par l'augmentation du pH. Il est important de reconnaître que l'application superficielle de « produits à la chaux » dans des plantations de cacao établies ne peut pas augmenter le pH de la zone des racines avant des décennies en raison de la faible solubilité du  $CaCO_3$  dans l'eau et, donc, du faible taux d'infiltration de l'alcalinité des amendements calcaires appliqués en surface. L'étude de plusieurs méthodes d'augmentation du pH des couches inférieures du sol a démontré que combiner des matières organiques biodégradables avec des produits à la chaux permettait au métabolisme des matières organiques d'induire une infiltration de l'alcalinité dans les couches inférieures du sol (voir Brown et al., 1997 ; Tester et al. 1990 ; Liu et Hue et al. 2001 ; et Tan et al., 1986). Étudiant les amendements à base de biocharbon et de chaux in vitro, en serre et sur le terrain, Ramtahal et al (2019) ont conclu que leur étude implique que les deux amendements étaient complémentaires dans leur action et qu'ils peuvent être utilisés dans les proportions recommandées pour réduire la bioaccumulation du Cd. Cependant, des études supplémentaires sont nécessaires sur le placement des amendements afin d'améliorer leur efficacité et leur longévité, en particulier dans des conditions de terrain. En outre, il est important d'ajuster le niveau de chaux en fonction de l'analyse du sol réalisée par un laboratoire réputé en la matière. La précipitation du Cd dans les sols ne peut être forcée, à l'exception des sols hautement calcaires. L'augmentation du pH entraîne une plus forte adsorption du Cd du sol par les oxydes de Fe et de Mn et les matières organiques qu'il contient. Il convient d'éviter tout chaulage excessif. L'Office de la sécurité alimentaire et des affaires vétérinaires (OSAV) suisse mentionne qu'aucune recherche de terrain réalisée dans des plantations existantes n'a été publiée pour montrer les dosages, etc. et leurs effets sur l'apport en Cd et sur la concentration de Cd dans les fèves.
21. Une expérience de terrain a été réalisée sur 18 mois afin d'évaluer l'efficacité du chaulage sur le pH, la biodisponibilité du Cd dans les sols et son passage dans les tissus du cacao et a conclu que l'assainissement par chaulage des sols des plantations de cacao contaminés par le Cd pour en réduire la concentration semblait faisable d'après les résultats des essais réalisés en laboratoire et sur le terrain à Trinité-et-Tobago (Gideon Ramtahal et al., 2018).
22. Augmenter la teneur en matières organiques du sol et améliorer son activité microbologique en appliquant des engrais ou des engrais biologiques tels que le lisier de bétail traité des aires d'engraissement et du bétail des fermes, le compost ou le bokashi, notamment. Il est pour ce faire important de connaître préalablement la teneur en Cd des intrants à utiliser. Le tableau n°2 montre les contributions estimées, les quantités minimale et maximale de Cd ajoutées aux sols agricoles par différentes sources (mg/kg) et le tableau n°3 montre la concentration de cadmium des roches.

**Tableau 3 : Contributions estimées des métaux lourds ajoutés aux sols agricoles par différentes sources (mg/kg), fourchette (quantité minimale à maximale)**

Métaux lourds	Engrais phosphatés	Engrais azotés	Produits de protection des plantes (pesticides)	Lisier	Boues d'épuration
Cd	0,1 – 170	0,05 – 8,5	1,38 – 1,94	0,3 – 0,8	2 – 1500

Source : Sánchez, 2003 ; Mico, 2005 ; Peris, 2006 ; Delgado, 2008. Cités par Rueda, Rodriguez et Madriñan, 2011

**Tableau 4 : Concentration de cadmium dans les roches**

Type de roche	Fourchette en mg/kg	Moyenne en mg/kg
Roches magmatiques		

Type de roche	Fourchette en mg/kg	Moyenne en mg/kg
Rhyolites	0,03 – 0,57	0,230
Granites	0,01 – 1,60	0,200
Basalte	0,01 – 1,60	0,130
Roches sédimentaires		
Schistes et argiles	0,017 – 11	-
Schistes noirs	0,30 – 219	
Grès et conglomérats	0,019 – 0,4	-
Carbonados	0,007 – 12	0,065
Phosphorites	<10 – 980	-
Charbon	0,01–300.	-
Dépôts de minéraux de soufre		
Sphalérite (SZn)	0,02 – 0,4 (< 5 %)	-
Galène (SPb)	< 0,5 %	
Tetraédrite, tennantite (CuSZn)	0,24 %	
Métacinabre (HgS)	11,70	

Source : Alloway, 1995

23. Afin de fournir plus d'informations sur l'influence des pratiques agricoles, les moyennes arithmétiques, qui sont une meilleure mesure de la tendance centrale, sont examinées afin de mieux expliquer l'inférence statistique des concentrations de cadmium exposées dans le Tableau 2. Pour cela, les paragraphes suivants présentent quelques sources citées par Rueda, Rodriguez et Madriñan (2011) ;
24. De Meeûs, C. ; Eduljee, G.H. ; Hutton, M. (2002) cité par Mico (2005) ont trouvé en 1989 que la contribution moyenne de Cd provenant des engrais phosphatés était d'environ 2,5 g de Cd par ha et par an, pour les sols agricoles des pays de l'Union Européenne, ce qui représente 50 % de la contribution totale dans les sols non affectés par d'autres activités polluantes comme, par exemple, industrielles.
25. Mico (2005) a cité quelques études, par ex, Jinadasa, K.B.P.N. ; Milham, P.J. ; Hawkins, C.A. ; Cornish, P.S. ; Williams, P.A. ; Kaldor, C.J. ; Conroy, J.P. (1997) qui corroborent les résultats cités dans le paragraphe précédent, car elles trouvent des teneurs en Cd plus élevées dans les sols cultivés (moyenne de 1,3 mg/kg) que dans les sols non cultivés (moyenne de 0,36 mg/kg), en raison de l'utilisation intensive d'engrais phosphatés.
26. Dans son étude comparative des teneurs en métaux lourds totaux (en mg/kg de sol sec) dans des sols de textures différentes ( $\bar{X} \pm DE$ ), Mico (2005) a trouvé pour le Cd les valeurs suivantes : Textures fines (n=36)  $0,34 \pm 0,17$  ; textures moyennes (n=15)  $0,35 \pm 0,25$  ; textures grossières (n=3)  $0,26 \pm 0,22$  ; en concluant que la séquence d'accumulation des métaux lourds, selon la texture du sol, suit l'ordre suivant : Cd : Textures moyennes > Textures fines > Textures grossières et que dans le cas du Cd, les sols à textures moyennes contiennent une valeur moyenne légèrement supérieure à celle des sols à textures fines, bien que les deux résultats soient similaires et puissent être considérés comme comparables.
27. Mico (2005) a trouvé que les teneurs extractibles de Cd dans la zone d'étude variaient de 0,01 mg/kg (MPA – 02 et 28) à 0,14 mg/kg (MPA – 18 et MPA – 47), avec une valeur moyenne de 0,08 mg/kg. En outre, il rapporte que dans le domaine international McLaughlin, M.J. ; Maier, N.A. ; Ryament, G.E. ; Sparrow, L.A. ; Berg, G. ; McKay, A. ; Milham, P. ; Merry, R.H. ; Smart, M.K. (1997) obtiennent une valeur moyenne de 0,18 mg/kg dans les sols de cultures de pommes de terre en Australie ; tandis que McGrath (1996) obtient une valeur moyenne de 0,52 mg/kg dans les sols agricoles d'Irlande.
28. Peris (2006) a étudié des sols avec des cultures horticoles dans la province de Castellon (Espagne) à partir de 77

échantillons prélevés dans des parcelles choisies au hasard. Les parcelles ont été caractérisées par l'analyse des caractéristiques du sol et des propriétés édaphiques et les teneurs totales et extractibles des métaux lourds (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb et Zn) dans les sols. En outre, les teneurs en métaux dans trois cultures caractéristiques de la zone d'étude, telles que la blette, la laitue et l'artichaut, ont été analysées dans 30 parcelles. Les résultats obtenus sont :

- Les sols sont généralement basiques (pH=8,1 de valeur moyenne ; avec une fourchette de variation de 7,5 à 8,5) et carbonatés (32,8 % de valeur moyenne ; avec une fourchette de variation de 8,8 à 65,7 %).
- Dans 66 % des parcelles, la conductivité électrique, dans l'extrait de pâte saturée, indique qu'il s'agit de sols sans problème de salinité (<2 dS/m), dans 31 % des parcelles il peut y avoir des problèmes de salinité, puisque les sols sont légèrement (2-4 dS/m) ou modérément salins (4-8 dS/m), et dans 3 % des parcelles les sols sont fortement salins (>8 dS/m).
- La teneur en matière organique est élevée, voire très élevée dans certaines parcelles (valeur moyenne de 4,2 %, avec une fourchette de 1,8 à 10,2 %). La capacité d'échange cationique des sols va de très faible à élevée (18,3 cmolc (+)/kg valeur moyenne ; avec une fourchette de variation de 3,4 à 39,6 cmolc (+)/kg) et la texture est principalement limoneuse, limoneuse-argileuse ou limoneuse fine.
- Les concentrations moyennes de métaux « pseudo-totaux » (mg/kg) dans la zone d'étude sont : 0,328 pour le Cd, 55,8 pour le Pb et 78,5 pour le Zn. Ces résultats reflètent principalement les niveaux normaux des sols agricoles, d'après la comparaison avec d'autres études décrites dans la littérature. Par conséquent, les pratiques agricoles dans la région ne semblent généralement pas générer un niveau excessif de métaux.
- Les résultats des analyses multivariées montrent l'existence de deux groupes de métaux lourds qui diffèrent par leur origine. Ainsi, le premier groupe est formé par le Fe, le Ni, le Co et le Mn, dont, dans les parcelles analysées, l'origine est principalement due à l'altération du matériau d'origine. C'est pourquoi ce groupe a été appelé facteur lithogénique. Le deuxième groupe est constitué de Cd, Pb, Cu, Cr et Zn, qui sont regroupés parce qu'ils ont généralement une origine anthropique dans les parcelles, et on appelle ce groupe le facteur anthropique.
- La teneur en fractions extractibles par l'acide éthylènediamine-tétraacétique (EDTA) par rapport à leur teneur « pseudo-totale » est inférieure à 10 % pour le Co, le Cr, le Fe et le Ni, 10 % pour le Mn et supérieure à 10 % pour le Cd (38 %), le Pb (19 %), le Zn (17 %) et le Cu (15 %). Ces résultats indiquent que les métaux ayant le plus grand potentiel de transfert (mobilité) dans les sols étudiés sont le Cd, le Cu, le Pb et le Zn, probablement en raison de leur origine anthropique dans la zone d'étude.
- En plus de la teneur « pseudo-totale », la concentration de la fraction extractible est également influencée par les caractéristiques et les propriétés du sol. Ainsi, les corrélations ou les lignes de régression indiquent que la fraction extractible d'EDTA du Cd, du Co, du Cu, du Fe, du Mn, du Ni et du Pb est positivement liée à la CEC ou négativement liée aux carbonates. Cependant, la caractéristique édaphique qui influence le plus le Zn extractible est l'argile. En outre, pour certains métaux, les relations établies entre la fraction extractible avec l'EDTA et la teneur « pseudo-totale » d'autres métaux sont importantes. En général, les fractions extractibles sont liées aux teneurs « pseudo-totales » en métaux d'origine similaire. Ainsi, les fractions extractibles des métaux ayant une origine lithogénique sont reliées aux métaux « pseudo-totaux » d'origine lithogénique, tandis que les métaux d'origine anthropique sont reliés entre eux.
- Dans les parcelles de laitues, de blettes ou d'artichauts, des échantillons de cultures ont été prélevés. Les concentrations de métaux dans les cultures sont regroupées en cultures de feuilles (laitue et blette) et en cultures d'inflorescences (artichauts). Ainsi, les teneurs moyennes en métaux, exprimées en mg/kg de poids sec, dans les cultures de feuilles sont de 1,47 pour le Cd, 0,57 pour le Co, 3,35 pour le Cr, 13,2 pour le Cu, 431 pour le Fe, 63 pour le Mn, 3,84 pour le Ni, 1,99 pour le Pb et 41,7 pour le Zn, tandis que dans les cultures d'inflorescences, les valeurs sont de 0,24 pour le Cd, impossible à quantifier pour le Co, 0,68 pour le Cr, 8,7 pour le Cu, 65 pour le Fe, 21 pour le Mn, 1,32 pour le Ni, 0,28 pour le Pb et 44,3 pour le Zn. Par conséquent, les éléments les plus concentrés sont les micronutriments (Cu, Fe, Mn et Zn). Les résultats obtenus à partir des concentrations de métaux dans les cultures échantillonnées semblent indiquer qu'en général, celles-ci ne devraient pas avoir de problèmes pour se développer correctement. Cependant, certaines cultures présentent des valeurs trop élevées de certains métaux, un échantillon présente notamment trop de Cd, un autre trop de Pb, et 3 trop de Ni et d'autres présentent des valeurs déficientes en Mn ou Zn. En outre, sur les parcelles dont les cultures n'ont pas pu être analysées, les valeurs des fractions de micronutriments extractibles (Cu, Mn et Zn) reflètent que les éventuelles cultures qui se développent sur ces parcelles ne devraient pas manquer de ces éléments, comme indiqué ci-dessus.
- Les éventuelles différences entre espèces dans l'absorption ou l'accumulation des métaux dans les cultures ont

été analysées en comparant les teneurs en métaux entre les deux types de cultures analysées. Les résultats montrent que les teneurs en Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni et Pb sont plus élevées dans les cultures de feuilles. Les différentes concentrations observées entre les deux types de cultures sont sûrement dues en grande partie à des différences physiologiques, qui font que les cultures foliaires sont fondamentalement des accumulateurs de métaux, puisqu'il n'y a pas de différences significatives dans la teneur en métaux des sols des deux types de cultures, ou lorsqu'il y a des concentrations plus élevées dans le sol des cultures à concentration plus faible. En outre, pour les métaux tels que le Cd et le Pb, une plus grande quantité de dépôts atmosphériques peut pénétrer par les feuilles. D'autre part, la valeur moyenne du Zn est légèrement plus élevée dans les cultures d'inflorescences que dans les cultures de feuilles, bien que la différence ne soit pas statistiquement significative, malgré des concentrations beaucoup plus élevées dans les sols des cultures d'inflorescences. Cela reflète les différences physiologiques entre les deux types de cultures, les cultures de feuilles étant des accumulateurs.

- Les relations établies entre la teneur « pseudo-totale » en métaux lourds dans le sol et dans les cultures sont négatives dans toutes les cultures pour le Cd et le Ni, dans les cultures foliaires pour le Cd, le Co et le Mn, et dans les artichauts pour le Cd. Ces relations négatives semblent refléter la plus grande importance de la pénétration des métaux, tels que le Cd, dans les cultures par les dépôts atmosphériques par rapport au transfert depuis le sol. D'autre part, l'inexistence de relations entre la fraction extractible des métaux et le contenu des cultures indique peut-être que la méthode d'extraction d'EDTA n'est pas la plus appropriée pour évaluer la biodisponibilité des métaux dans ces sols pour ces cultures.
  - Parmi les différents éléments, il existe des corrélations, positives ou négatives, qui indiquent que l'absorption d'un métal par la plante augmente ou diminue en présence d'autres métaux dans le sol. Par exemple, dans l'ensemble des cultures, la teneur en Cd est d'autant plus faible que la concentration en Zn dans les sols est élevée. Par conséquent, pour étudier l'accumulation possible d'éléments toxiques dans les cultures, il est tout aussi important de connaître la concentration de métaux dans le sol et dans la culture que de connaître les interactions qui peuvent se produire entre les éléments.
29. Tang, J. et al (2020) ont étudié les effets du biocharbon, du compost et de leur combinaison sur la disponibilité des métaux lourds, les caractéristiques physicochimiques et les activités enzymatiques dans le sol. Ils ont démontré que l'ajout d'amendements à un sol pollué modifiait considérablement les propriétés du sol et que, par rapport à l'ajout séparé de biocharbon ou de compost, leur application combinée était plus efficace pour améliorer le pH du sol, la matière organique, le carbone organique et le potassium disponible. De plus, tous les amendements significativement diminuaient la disponibilité du Cd et du Zn, mais activaient légèrement l'As et le Cu. Les activités enzymatiques du sol étaient activées par le compost et inhibées par le biocharbon, mais présentaient des réponses très variables à leurs combinaisons. L'analyse de corrélation de Pearson a indiqué que la conductivité électrique et le potassium disponible étaient les facteurs environnementaux les plus importants affectant la disponibilité des métaux et les activités enzymatiques du sol, notamment la déshydrogénase, la catalase, la  $\beta$ -glucosidase, l'uréase, la phosphatase acide et alcaline, l'arylsulfatase, à l'exception de la protéase et de l'invertase.
- La disponibilité de l'As, du Cu, du Cd et du Zn a affecté les activités déshydrogénase, catalase et uréase. Ces résultats ont indiqué que le biocharbon, le compost et leur combinaison ont des effets significatifs sur les caractéristiques physicochimiques, sur la disponibilité des métaux et les activités enzymatiques dans un sol pollué par des métaux lourds.
30. Concernant l'activité microbiologique, l'effet des microorganismes sur la baisse de la concentration du cadmium dans le cacao est bien documentée : Bravo et al (2018) et Revoredo, A. et Hurtado, J. (2018) ont montré que les inoculum microbiens sont efficaces dans les cultures de cacao. Revoredo et Hurtado déterminent l'activité de biorémédiation de 3 souches de *Streptomyces* : *Streptomyces variabilis* (AB5 et X) et *Streptomyces* sp. (C2) à l'aide de deux concentrations différentes de Cd : 100 et 200 ppm, ont conclu que la souche C2 a une activité de biorémédiation puisqu'elle réduit l'absorption de Cd dans les plantes de cacao, de 39,67 % en moyenne dans le traitement avec 100 ppm de Cd et de 21,13 % en moyenne dans le traitement avec 200 ppm de Cd.
31. Éviter d'appliquer des engrais au phosphate et aux roches sédimentaires phosphorées car ils contiennent généralement du Cd en tant qu'impureté, dont la présence est plus faible dans les roches phosphorées d'origine magmatique. Smolders (2017) explique que le succès de la production de cacao dépend de l'ajout d'engrais phosphatés parce que la concentration en phosphore des sols tropicaux est naturellement très limitée. Les directives ne devraient pas reposer sur le type d'engrais phosphaté mais sur la concentration absolue de Cd. Dans ces plantations, les plantes présentent une très faible teneur en P disponible si l'on s'en fie aux études publiées sur la fertilité des sols, les engrais au P peuvent dès lors être utiles pour améliorer la croissance et, par conséquent, la dilution du Cd dans les plantes. En Europe, aux États-Unis et dans de nombreuses autres nations,

des limites sont imposées sur le Cd dans les engrais au P, dont les phosphates naturels qui peuvent être vendus dans le commerce. Smolders (2017) résume les meilleurs conseils actuels sur les limites appropriées pour le Cd dans les engrais au P. Un problème majeur des nations d'Amérique Latine et des Caraïbes qui produisent du cacao est l'absence de contrôle et de réglementation stricte sur le Cd dans les engrais. Des réglementations de ce type doivent être développées et appliquées aux engrais utilisés dans les plantations de cacao.

32. Utiliser des engrais azotés et au potassium parce que leur concentration en cadmium est normalement très basse et de préférence des engrais composés tels que 20-20-20 (N-P205 et K20), en vérifiant l'analyse des métaux lourds. Il a été démontré que, dans les sols bien alimentés, le risque de bioaccumulation du cadmium est plus faible. Il convient de souligner que les engrais azotés et au potassium ne devraient pas être utilisés dans les plantations de cacao biologique.
  33. La préparation et l'utilisation de charbon activé avec différents types de matières, de préférence locales (biomasse résiduelle ou chaume), peut servir à faire baisser la disponibilité du Cd dans le sol par un mécanisme d'adsorption. Le charbon activé ou le biocharbon sont toutefois des amendements des sols coûteux et peu susceptibles d'être rentables pour les producteurs de cacao, surtout les plus petits. Il convient de souligner que le charbon activé ne devrait pas être utilisé dans les plantations de cacao biologique.
  34. L'Institut interaméricain de coopération pour l'agriculture (2017b) souligne que des éléments indiquent que la taille adéquate et permanente des arbres réduit significativement la présence du Cd dans la coque. La taille superficielle du cacaoyer a un impact significatif sur l'architecture des racines et constitue un élément important pour bloquer l'absorption de Cd du sol, en particulier dans les sols volcaniques.
  35. L'application de vinasse (sous-produit de l'industrie du sucre de canne), engrais liquide riche et source de potassium, peut également renforcer l'installation de champignons qui forment des mycorhizes dans les racines du cacaoyer, augmente l'efficacité de la nutrition en phosphore de ces cultures, augmente leur résistance à la sécheresse, les protège contre les maladies et immobilise le cadmium.
  36. Utiliser de préférence des mycorhizes naturelles dans la région et autres bioremédiateurs qui « capturent » le Cd présent dans le sol, ce qui empêche les fèves de cacao de l'absorber.
- 3.2. Phytoextraction des métaux lourds (Cd)
37. Cette technique implique de planter des arbres, des buissons, des herbacées et autres cultures de couverture dans les sols contaminés par des métaux lourds afin de les extraire par le système racinaire et de les transférer à la masse des feuilles, qui sont alors ramassées et incinérées (à 450°C) pour en faire des cendres dont il est ensuite décidé si elles doivent être confinées ou analysées et transformées en laboratoire afin de réutiliser ces métaux. Il convient de mentionner que l'application de cette technique requiert de disposer d'un système de biosécurité destiné à empêcher l'utilisation du feuillage à des fins alimentaires pour l'homme ou les animaux. Chaney, R.L et Baklanov, 2017 rapportent que malheureusement, les espèces végétales ayant démontré une très forte accumulation de Cd ne sont pas adaptées aux environnements tropicaux et qu'il serait très difficile de faire pousser une autre culture sous les cacaoyers et de récolter annuellement la biomasse au-dessus du sol pour éliminer le Cd dans les plantations de cacao.
  38. Jebara, S.H., et al 2019 ont exprimé que les légumineuses coïnoculées par des bactéries favorisant la croissance des plantes (PGPB), résistantes au cadmium, contribuent à un type de phytoremédiation pour atténuer la contamination du sol par le Cd. En outre, les symbioses légumineuses-PGPB influenceraient la biodisponibilité du Cd dans les légumineuses par divers mécanismes, tels que la bioaccumulation, la précipitation, la complexation et la chélation. La toxicité du Cd a induit un large éventail de mécanismes de tolérance physiologiques et biochimiques chez les légumineuses, tels que l'expression génétique des protéines de liaison au métal impliquées dans la chélation et le transport du Cd, comme la phytochélatine synthase (PCS) et la métallothionine (MT), et l'activation du système de défense antioxydant.
- 3.3. **La gestion agronomique des cultures de cacao et la bioaccumulation de Cd**
39. Pour une gestion agronomique des cultures, sont importants : la taille, le nombre de plants par hectare, les systèmes d'ombrage, le régime d'humidité du sol, l'application d'engrais et d'amendements, les doses et les moments choisis pour exécuter ces tâches afin de respecter le métabolisme du cacao et de réduire la probabilité que le cadmium pénètre les racines parce que ce métal présente normalement une bioaccumulation en de plus grandes quantités en cas de faible fertilité, de sol sablonneux, de faible teneur en matières organiques, en zinc et en manganèse, de forte acidité (pH < 5,5) et de mauvaise gestion.
  40. Lorsque la physiologie du cacao est adéquate, la production et le fonctionnement des enzymes favorisent leurs processus métaboliques normaux et réduisent la bioaccumulation du cadmium dans les fèves de cacao grâce aux mécanismes d'auto-défense des plantes contre les contaminants qui s'activent lorsque les plantes sont en bonne

santé et bien nourries. Observation des États-Unis : Les plantes qui poussent normalement ne présentent pas d'activité physiologique spéciale qui réduit l'accumulation du Cd. Les retards de croissance, surtout s'ils sont dus à une acidité excessive du sol, entraînent une plus grande accumulation du Cd. Le Tableau 5 présente ci-dessous une liste des conditions qui génèrent la bioaccumulation du Cd dans les fèves de cacao et leurs mesures de réduction proposées :

**Tableau 5 : Conditions du sol et de l'eau qui favorisent la bioaccumulation du Cd dans les fèves de cacao.**

<p>Les conditions du sol et de l'eau qui génèrent la bioaccumulation du cadmium dans les fèves de cacao ; les États-Unis indiquent qu'il est très peu probable que les eaux d'irrigation salines soient un problème dans la production de cacao et Cd. Il est approprié de formuler un avertissement en cas de niveau de chlorure élevé dans l'eau d'irrigation, les engrais et autres amendements des sols. C'est spécifiquement le chlorure présent dans le sol, et non sa salinité, qui augmente l'accumulation du Cd dans toutes les espèces de plantes. (McLaughlin, 2016).</p> <p>Les conseils sur le pH du sol devraient par ailleurs être plus spécifiques. Des études sur les propriétés des sols des plantations de cacao de plusieurs nations ont révélé un pH du sol de 4,5 favorisant fortement l'accumulation du Cd. Les sols de la zone racinaire devraient être chaulés pour atteindre un pH de 6,5 si la teneur du cacao en Cd doit être réduite. Si le sol présente naturellement une forte teneur en Cd, il devra être</p>	Mesures de réduction proposées
Sols naturellement peu fertiles	Fertiliser le sol avec un engrais à bonne
Faible concentration de matières organiques dans le sol	Augmenter la teneur en matières
Faible teneur en Zn	Incorporation de Zn
Sols sablonneux	Éviter de cultiver sur des sols sablonneux, utiliser de préférence des
Eaux salines (2 mS/cm) avec une forte teneur en chlorure. Dans l'unité mentionnée, S signifie Siemens	Traiter l'eau pour en réduire la salinité et la teneur en chlorure
Sols fortement acides	Chauler le sol jusqu'à atteindre un pH de modérément acide à neutre

41. Zones de plantations : Par mesure de prévention, la plantation de cacaoyers devrait se faire dans des zones où la teneur en Cd est réduite, de sorte que les sols agricoles ne contiennent pas plus de 1,4 mg/kg de Cd (CCME, Canada, 1999 ; DS 011-2017, MINAM, Pérou).
42. Gramlich, A., et al. (2017) se référant à l'absorption de Cd par les cacaoyers dans des systèmes agroforestiers et de monoculture sous gestion conventionnelle et biologique ont déterminé que les systèmes de production et les cultivars seuls n'avaient aucune influence significative sur le Cd foliaire. Cependant, ils ont trouvé des teneurs foliaires en Cd plus faibles dans les systèmes agroforestiers que dans la monoculture lorsqu'ils ont été analysés en combinaison avec le Cd disponible dans les sols mesuré par des films DGT, le cultivar de cacao et la matière organique du sol. Dans l'ensemble, ce modèle explique 60 % de la variance des concentrations de Cd dans les feuilles. De plus, ils expliquent les concentrations plus faibles de Cd dans les feuilles des systèmes agroforestiers par la compétition pour l'absorption du Cd avec d'autres plantes, et aussi que l'effet du cultivar peut être expliqué par des capacités d'absorption propres au cultivar ou par un effet de croissance se traduisant par des taux d'absorption différents, car les cultivars étaient de taille différente.
43. Gramlich, A., et al. (2018) dans leur article sur l'absorption du Cd du sol par le cacao au Honduras ont mis en évidence que : a) le Cd des fèves dépassait les normes européennes dans certaines zones, bien que les sols ne soient pas contaminés, b) le Cd disponible dans les sols mesuré par des films DGT ( $Cd_{DGT}$ ) prédisait le mieux le Cd des fèves et des feuilles. En outre, les concentrations de Cd dans les fèves de cacao étaient les plus élevées sur les substrats alluviaux. D'autre part, comme ils n'ont pas trouvé d'influence de l'application d'engrais ni de la

proximité de sites industriels, ils ont conclu que les différences de Cd du sol entre les sites étaient dues à la variation naturelle et que, de tous les facteurs inclus, le Cd disponible dans les sols mesuré par DGT était le meilleur prédicteur du Cd dans la fève. Cd ( $R^2 = 0,5$ ) et lorsque les films DGT n'étaient pas pris en compte, le Cd de la fève était mieux prédit par le Cd « total » du sol, le pH et la géologie.

#### 4. MESURES DE PRODUCTION À APPLIQUER DANS LES CHAMPS POUR PRÉVENIR ET RÉDUIRE LA CONTAMINATION DANS LES FÈVES DE CACAO PAR LE CADMIUM

44. Il est également important de connaître les sources de cadmium et la répartition du cadmium dans le sol. Plusieurs études sur le Cd dans le sol de plantations d'Amérique Latine ont identifié un enrichissement substantiel en Cd de certains sols utilisés pour la production de cacao. Les concentrations de Cd supérieures des couches supérieures par rapport aux couches inférieures du sol peut découler des processus naturels de formation du sol et de l'application d'engrais (et, notamment, de produits phosphatés), ou de l'émission d'aérosols de sources industrielles. L'enrichissement naturel du sol en métaux peut découler de la minéralisation (en Zn et Cd) à proximité de mines de Zn, de Cu et de Pb (ratio Cd:Zn généralement compris entre 0,005 et 0,01  $\mu\text{g Cd}/\mu\text{g Zn}$ ). Le schiste marin peut produire du Cd avec un fort ratio Cd:Zn présentant une plus grande disponibilité pour les plantes que la contamination due au minerai de Zn. Plusieurs régions d'Amérique Latine présentent en outre des contaminations importantes, voire localement extrêmes, par le Cd dues à ces sources de schiste marin (Garrett et al., 2008) ; certains sols jamaïcains contiennent plus de Cd que de Zn, ce qui est extrêmement rare. Lorsque le Cd est supérieur aux niveaux de fond (entre 0,2 et 0,5 mg Cd/kg de sol sec), d'autres éléments (Zn) contribuent à en clarifier la source. Les sols développés à partir de dépôts phosphatés sont riches en P, Cd et Zn, avec un ratio Cd:Zn généralement égal à 0,1. Les concentrations de Zn et de P des sols suspectés d'être riches en Cd devraient dès lors être mesurées pour en clarifier la source. (Garrett, R.G., A.R.D. Porter, P.A. Hunt et G.C. Lalor. 2008). Rodriguez, et al (2019), en utilisant les données d'une étude existante réalisée dans une zone de production de cacao du centre de la Colombie, ont sélectionné plusieurs fermes à forte concentration de Cd, et dans ces fermes ont étudié la variabilité spatiale du Cd dans le sol et les tissus végétaux, ainsi que d'autres propriétés chimiques du sol. Voici quelques-unes de leurs conclusions : À des profondeurs de sol plus importantes, il y avait une réduction du Cd total ainsi que des niveaux disponibles de l'élément, le modèle de régression spatiale explique le Cd dans les fèves de cacao en relation avec les propriétés chimiques édaphiques, l'emplacement et la profondeur du sol.
45. L'analyse des sols doit être obligatoire pour les producteurs de cacao, actuels et nouveaux, afin d'identifier les sols et les eaux moins chargés en cadmium. Les zones présentant des concentrations plus élevées devraient être destinées à d'autres types de cultures marchandes telles que le café ou les plantes qui absorbent moins le cadmium. L'association des exportateurs du Pérou, l'ADEX, déclare que le café et le cacao sont produits à des niveaux écologiques différents, et qu'il ne peut donc pas être suggéré de remplacer les plantations de cacao par des plantations de café. Le café de qualité pousse à plus de 1 000 mètres d'altitude (<http://www.minagri.gob.pe/portal/especial-iv-cenagro/24-sector-agrario/cafe/204-cafes-especiales-en-el-peru>) et le cacao entre 300 et 900 mètres d'altitude (<https://www.sierraexportadora.gob.pe/programas/cacao/que-significa.php>). L'OSAV (Suisse) déclare que les sols devraient également faire l'objet d'échantillonnages, attendu que les concentrations de Cd ne sont pas homogènes. En outre, des facteurs tels que le pH ou les matières organiques contenues dans le sol devraient également être pris en compte. Davila, C. b (2018), pour la caractérisation des sols considérés dans ses analyses : pH, conductivité électrique, carbonate de calcium, matières organiques, phosphore, potassium, analyse mécanique (sable, limon, argile), classe de texture, échange de cations, cations échangeables (Ca, Mg, K, Na, Al + H), somme des cations, somme des bases, saturation des bases.
46. Pour l'analyse du Cd, plusieurs méthodes non incluses dans le CODEX STAN 228/2001 peuvent être utilisées, mais la méthode sélectionnée doit répondre aux critères de performance requis pour les limites maximales supérieures à 0,1 mg/kg établies dans le Manuel de procédure de la Commission du Codex Alimentarius, qui sont les mêmes que celles établies dans les règlements de l'Union européenne (EFSA, 2009) pour la limite de détection (LOD), la limite de quantification (LOQ) et la précision. L'assainissement devra se situer dans la fourchette de 80 % à 110 %.
47. Méthodes d'analyse pour déterminer le Cd dans les fèves de cacao :

Technique	Limite de détection ( $\mu\text{g/L}$ )
Spectrométrie d'absorption atomique de flamme FAAS	0,8 – 1,5
Spectrométrie d'émission optique à plasma à couplage inductif (ICP-ES) ICP-OES	0,1 – 1,0

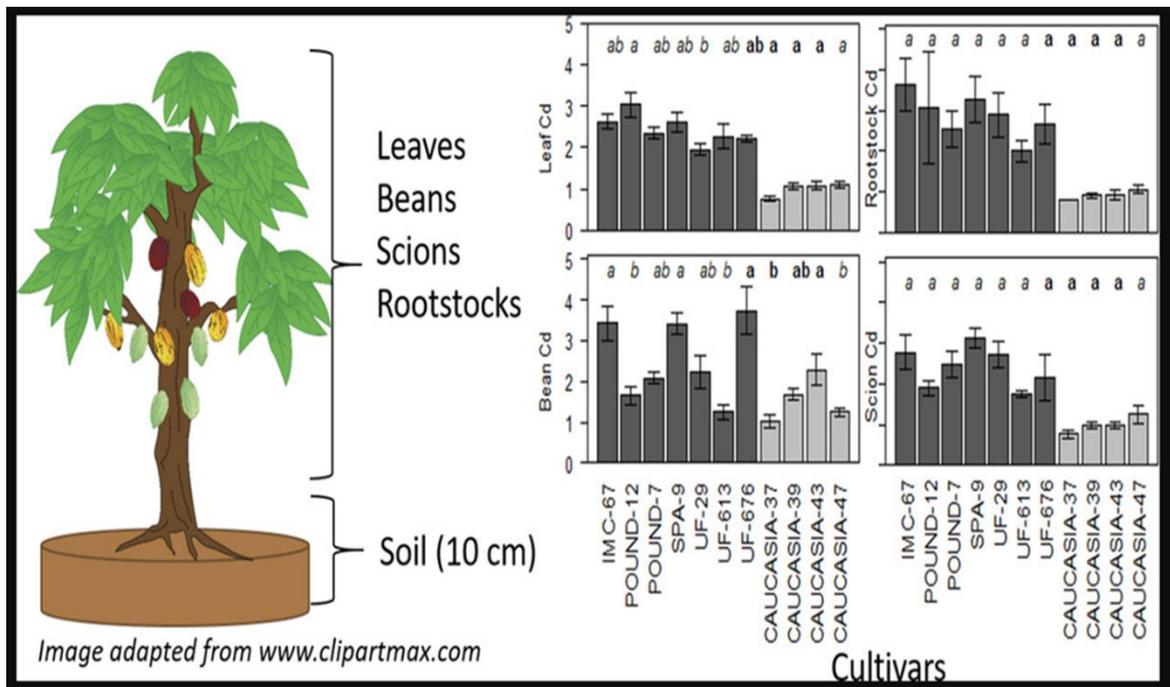
Spectroscopie d'absorption atomique par four graphite – GFAAS	0,002 – 0,02
Spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICPMS). ICP-MS	0,00001 – 0,001

EFSA, 2009

48. Utiliser les résultats des tests du sol pour déterminer s'il faut appliquer des engrais ou des amendements des sols pour assurer l'adéquation du pH du sol et de la nutrition des plants afin d'éviter le stress des plantes, surtout pendant le stade de développement des graines, à moins que le producteur puisse prouver que son plan d'action proposé réduit les risques à des niveaux acceptables. On peut dire que le cacao est une plante qui s'épanouit sur de nombreux types de sols différents. Van Vliet et Giller, 2017, ayant examiné la nutrition minérale du cacao, ont établi que la limitation des nutriments faisait partie des contraintes de production des producteurs de cacao. Dans leur étude, ils compilent les connaissances actuelles sur les cycles des nutriments dans les systèmes de production du cacao, les exigences du cacao en nutriments, et le rendement lié à l'application d'engrais vis-à-vis de facteurs tels que les conditions de gestion, climatiques, et du sol.
49. Les sols qui présentent une capacité d'échange cationique supérieure (59,0-60,6 mEq/100g) présenteraient également une capacité supérieure à fixer les métaux (Cargua, J. et al., 2010). Les États-Unis observent qu'une « CEC de 59,0 à 60,6 mEq/100g » semble incorrecte. En général, la CEC des sols des plantations de cacao est < 15 dans la littérature publiée. Les sols sablonneux présentent une faible CEC, qui peut parfois être inférieure à 5. Ce n'est pas non plus la CEC en tant que telle qui réduit la phytodisponibilité du Cd, c'est la surface des oxydes de Fe et de Mn et la capacité de chélation des matières organiques qui adsorbent le Cd et en réduisent la phytodisponibilité. Les argiles des sols dont la CEC est supérieure sont généralement revêtues d'oxydes hydratés de Fe et de Mn, de sorte que les argiles sont corrélées avec l'adsorption du Cd.
50. Cargua et al, 2010, cite Miliarium (2009), qui observait également que l'argile tend à adsorber les métaux lourds qui sont retenus dans leurs positions d'échange et que, au contraire, les sols sablonneux n'ont pas la capacité de fixer les métaux lourds qui passent rapidement dans les couches inférieures du sol et peuvent contaminer les nappes phréatiques.
51. Avant les récoltes, s'assurer que tout le matériel qui sera utilisé pour récolter, sécher, nettoyer et stocker les cultures est en bon état de fonctionnement et que les déchets, fèves et poussières sont nettoyés le mieux possible. Une panne de matériel pendant sa période d'utilisation critique peut entraîner une baisse de la qualité des fèves et accroître le risque d'apparition de cadmium. Vérifier que le matériel nécessaire pour mesurer la teneur en eau est disponible et étalonné.
52. Récolte : éviter de récolter les fruits immatures du cacao, en raison de leur pulpe solide sans mucilage, de la difficulté à séparer les fèves de cacao de la coque et d'une fermentation inappropriée. En outre, l'Institut interaméricain de coopération pour l'agriculture, IICA (2017b) rapporte que la réduction de la contamination par le Cd dans les fèves de cacao dépend considérablement de la gestion de la récolte ; étant très clairement démontré que les plus fortes concentrations de cadmium se trouvent dans la cabosse, c'est pourquoi il est recommandé de séparer les fèves des cabosses très tôt.
53. Fertilisation : L'utilisation d'engrais phosphatés sur le long terme augmente la concentration en Cd des couches arables du sol (IPCS 2010), bien que la FDA (États-Unis) observe qu'il est important de maintenir une fertilité adéquate du P afin que la croissance des arbres ne soit pas retardée par une faible concentration en P et que les arbres n'accumulent pas une forte concentration en Cd, mieux vaut conseiller l'emploi d'engrais au P limités en Cd. Il est nécessaire de s'assurer de l'existence d'une réglementation régissant l'échantillonnage, le suivi et l'application des limites des engrais au P. Ces limites peuvent également être nécessaires pour les engrais au Zn parce que certains dérivés d'engrais au Zn contiennent beaucoup plus de Cd que n'importe quel engrais au P.
54. Rentabilité des mesures de réduction du Cd : Le traitement des sols contaminés par des métaux par immobilisation via des amendements chimiques tels que la dolomite ou le calcaire peut représenter une alternative viable et moins onéreuse pour réduire la disponibilité des métaux (Trakal et al., 2011). Par ailleurs, la communication personnelles des chercheurs internationaux participant au Forum (MINAGRI-IICA 2018) souligne que l'utilisation desdits amendements chimiques augmente la production des cultures de cacao. La production est accrue parce que la limitation des nutriments est réduite.
55. Le *Guide for Phytosanitary Management and Safety* (guide de la gestion phytosanitaire et de la sécurité) pour les plantations de cacao (MINAGRI-SENASA-IICA, 2017) mentionne que la gestion des cultures de cacao avec un système d'agroforesterie réduit la concentration de cadmium. D'un autre côté, elle permet de fournir des services environnementaux différenciés à la société, constitue une alternative environnementale et contribue à la réduction du cadmium. Voir « Utilisation des ressources forestières ligneuses et non ligneuses du système agroforestier du cacao » (*Theobroma cacao* L.) <https://www.academia.edu/28727375/USODERECURSOS>

FORESTALES MADERABLES Y NO MADERABLES DEL SISTEMA AGROFORESTAL CACAO Theobroma cacao L. USE OF TIM BER AND NON-TIMBER FOREST RESOURCES IN THE CACAO Theobroma cacao L. AGROFORESTRYSYSTEM

56. Engbersen, N. et al. (2019) dans leur recherche, ont utilisé l’essai à long terme de cultivars de cacao CEDEC-JAS dans le nord du Honduras pour étudier les différences entre 11 cultivars dans l’absorption et la translocation du Cd. L’échantillonnage des porte-greffes, des scions, des feuilles et des fèves a été effectué sur chaque site à partir de trois arbres réplique par cultivar et du sol qui les entoure. Les résultats indiquent que les concentrations de Cd disponible dans les sols étaient plus étroitement corrélées aux concentrations de Cd des porte-greffes ( $R^2 = 0,56$ ), des scions ( $R^2 = 0,59$ ) et des feuilles ( $R^2 = 0,46$ ) qu’aux concentrations de Cd des fèves ( $R^2 = 0,26$ ). En outre, les concentrations de Cd des porte-greffes, des scions et des feuilles ont montré des corrélations étroites avec les concentrations de Cd disponible dans les sols, sans différences significatives entre les cultivars. En revanche, les concentrations de Cd des fèves n’ont montré que de faibles corrélations avec le Cd disponible dans les sols et les concentrations de Cd dans les parties végétatives des plantes, mais une variation significative entre les cultivars. Trois cultivars, qui ont été analysés plus en détail, ont montré des différences significatives dans les concentrations de Cd des fèves mures, mais pas dans celles des fèves immatures. Ces résultats suggèrent que les différences de concentrations de Cd dans les fèves liées aux cultivars résultent principalement des différences de charge en Cd pendant la maturation des fèves, peut-être en raison de différences spécifiques aux cultivars dans le transfert du Cd du xylème au phloème. Les résultats montrent que le fait de sélectionner des cultivars avec un faible transfert de Cd des parties végétatives vers les fèves pourrait fortement maintenir l’accumulation de Cd dans les fèves de cacao à des niveaux sans danger pour la consommation. La figure ci-dessous montre l’accumulation et la répartition du Cd dans différents cultivars de cacao.



Feuilles

Fèves

Scions

Porte-greffes

Sol (10 cm)

Image adaptée de [www.clipartmax.com](http://www.clipartmax.com)

Cd dans les feuilles

Cd dans les porte-greffes

Cd dans les fèves

Cd dans les scions

Cultivars

57. Chavez, E., Z.L. He, P.J. Stofella, R.S. Mylavarapu, Y.C. Li, B. Moyano et V.C. Baligar (2015) cité par McLaughlin Mike. 2016, montrent dans le tableau 5 la relation entre les paramètres du sol et la concentration en Cd dans les fèves de cacao pour les profondeurs 0 – 5 et 5 – 15 cm dans le sud de l'Équateur.

Tableau 6

Table 5

Relationship between soil parameters and Cd concentration in cacao beans for the 0-5 and 5-15 cm depth.

Soil properties (0-5 cm)	R <sup>2</sup>	Soil properties (5-15 cm)	R <sup>2</sup>
M3, EC, pH. % clay, Total C, TR, CEC	0.77	M3, total C, % clay, pH, TR, EC, CEC	0.84
M3, EC, pH. % clay, total C, TR	0.77	M3, total C, % clay, pH, TR, EC	0.84
M3, EC, pH. % clay, total C	0.76	M3, total C, % clay, pH, TR	0.82
M3, EC, pH. % clay	0.76	M3, total C, % clay, pH	0.79*,+
M3, EC, pH	0.73*,+	M3, total C, % clay	0.72
M3, EC		M3, total C	

Nomenclature: TR = total recoverable Cd, Total C = total carbon, CEE = effective cation exchange capacity, EC = electrical conductivity.

\* P < 0.05.

+ Best model.

Tableau 5

Relation entre les paramètres du sol et la concentration de Cd dans les fèves de cacao pour les profondeurs de 0 à 5 cm et de 5 à 15 cm.

Propriétés du sol (0 à 5 cm)	R <sup>2</sup>	Propriétés du sol (5 à 15 cm)	R <sup>2</sup>
M3, CE, pH. % d'argile, C total, TR, CEC	0,77	M3, C total, % d'argile, pH, TR, CE, CEC	0,84
M3, CE, pH. % d'argile, C total, TR	0,77	M3, C total, % d'argile, pH, TR, EC	0,84
M3, CE, pH. % d'argile, C total	0,77	M3, C total, % d'argile, pH, TR	0,84
M3, CE, pH. % d'argile	0,76	M3, C total, % d'argile, pH	0,82
M3, CE, pH.	0,76	M3, C total	0,79*,+
M3, CE	0,73*,+	M3, CE	0,72

Nomenclature : TR = Cd total récupérable, C total = carbone total, CEC = capacité d'échange cationique, CE = conductivité électrique.

\*P < 0,05.

+ Meilleur modèle.

58. L'Institut interaméricain de coopération pour l'agriculture, IICA (2017b) mentionne que les expériences menées par l'Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP en Équateur montrent que la contamination par le Cd est plus évidente dans les 5 premiers cm du sol.
59. Chupillon-Cubas J, Arévalo-Hernández, C ; Arévalo-Gardini, E ; Farfán-Pinedo, A ; Baligar V. (2017), étudiant l'accumulation de Cd dans six génotypes de cacao utilisés comme porte-greffe, ont conclu que le clone IMC67 présentait la plus faible teneur en Cd tant dans la partie aérienne que dans la racine, avec des différences significatives par rapport au témoin, le clone étant le plus approprié pour être utilisé par les agriculteurs.

#### 5. MESURES DE PRODUCTION À APPLIQUER APRÈS LA RÉCOLTE POUR PRÉVENIR ET RÉDUIRE LA CONTAMINATION PAR LE CADMIUM

L'Institut interaméricain de coopération pour l'agriculture (2017b) mentionne que des études récentes ont révélé que la plus grande quantité de Cd se trouve dans le mucilage, de sorte que des mesures doivent être prises dans la période d'après récolte. On estime que le mucilage contient 4,5 fois plus de Cd que la testa et 5,7 fois plus que la fève.

60. L'égouttage du mucilage améliore la qualité sensorielle des fèves de cacao en cours de fermentation en réduisant leur acidité. Une étude de 0, 2, 4 et 6 heures sur l'effet du temps d'égouttage des fèves de cacao créole du Pérou (Inga, J. 2017) a conclu que la meilleure durée d'égouttage, entraînant une fermentation supérieure à 80 %, était de 4 heures. Une autre thèse étudiant l'effet du temps d'égouttage dans l'hybride clonal CCN51 (fèves de cacao qui contiennent plus d'eau) comprenant 0, 12, 24 et 36 heures a conclu que 36 heures était la meilleure durée avec  $86,00 \pm 9,63$  de fermentation et que l'égouttage de 12 heures avait un pourcentage de fermentation de  $83,83 \pm 1,48$ . (Sotelo, V. 2012) Une étude expérimentale a démontré que l'égouttage de la pulpe ou du mucilage pendant 12 heures (durée plus longue que la normale) réduisait significativement la teneur en Cd dans les fèves de cacao d'une variété sans affecter la qualité physique ou organoleptique du cacao au moment de l'évaluation. Le séchage du mucilage pendant 12 heures pendant la fermentation réduit de manière significative la concentration de cadmium dans les fèves de cacao CCN-51. Davila, C. 2018a. Cela correspond à la conclusion de Sotelo, V. 2012.
61. Les concentrations de cadmium diminuent au fur et à mesure de la fermentation. Ruth Vanderschueren, Vincent De Mesmaeker, Sandra Mounicou, Isaure Marie-Pierre, Emmanuel Doelsch, et al., 2020
62. Séchage : S'assurer que les fèves ne peuvent pas être contaminées par la fumée et les gaz des séchoirs ou des véhicules. Les fèves de cacao pourraient être séchées en hauteur afin de ne pas être en contact direct avec le sol, le goudron ou le béton et de rester inaccessible pour les animaux. (CAOBISCO/ECA/FCC.2015).
63. Entreposage : S'assurer que les entrepôts ne sont pas contaminés par des déversements de carburant, des gaz d'échappement ou des fumées. (CAOBISCO/ECA/FCC.2015).
64. Le risque de contamination par le cadmium après la récolte et pendant le stockage des fèves peut être géré de manière plus prévisible grâce aux bonnes pratiques agricoles (BPA) et aux bonnes pratiques de fabrication (BPF) qui veillent à ce que le taux d'humidité des fèves de cacao stockées reste inférieur aux taux favorables à la réduction du cadmium en fonction des conditions environnementales de la région. Le taux d'humidité des fèves de cacao stockées devra être contrôlé régulièrement et maintenu en-dessous de 8 % lors du séchage. (CAC/RCP 72-2013)
65. Comme c'est déjà le cas pour les achats volumineux de fèves de cacao, l'analyse des lots de fèves de cacao avant leur transformation devra devenir une pratique standard pour mélanger les fèves de cacao contenant plus de cadmium avec celles qui en contiennent moins. Cette pratique est appliquée dans certains pays d'Amérique du Sud. L'ADEX ajoute que cette pratique est courante lors de la transformation des grains en produits dérivés du cacao, non seulement pour en réduire la teneur en cadmium, mais aussi, et essentiellement, pour obtenir les caractéristiques organoleptiques recherchées par le marché cible. Le représentant du Ministère de l'Agriculture et de l'Irrigation du Pérou précise que, dans la mesure du possible, le mélange des grains devra être évité étant donné qu'il s'agit d'une solution commerciale à court terme qui ne résout pas le problème et que l'identité et l'origine caractéristiques sont perdues pour les pays qui produisent un cacao aux arômes et aux saveurs subtils. Il indique également qu'il est nécessaire de mettre en œuvre la traçabilité de la concentration de cadmium.
66. Transport : a) Couvrir les zones de chargement et de déchargement des fèves de cacao pour les protéger de la pluie ; b) S'assurer que les véhicules sont nettoyés des résidus des cargaisons précédentes avant d'être chargés de cacao (en particulier en ce qui concerne les cultures allergènes) ; c) Vérifier que les véhicules sont bien entretenus et que le plancher, les parois latérales et les plafonds (dans les véhicules fermés) ne présentent pas de points où les gaz d'échappement ou l'eau de pluie pourraient être canalisés dans la cargaison de cacao ; d) Les opérateurs doivent sélectionner des prestataires de services de transport fiables, qui adoptent les bonnes

pratiques de transport recommandées. (CAOBISCO/ECA/FCC.2015).

6. **MESURES VALIDÉES APPLIQUÉS AUX PAYS PRODUCTEURS ET OBTENUES AVEC L'AIDE DES PAYS INDUSTRIALISÉS**

67. COLOMBIE

Le Comité national du Codex Alimentarius de Colombie, en réponse à la lettre circulaire CL 2018/73-CF, a transmis les informations demandées avec les détails suivants :

Résumé de la mesure démontrée : Étude de la diversité microbienne associée aux sols des plantations de cacao en présence de cadmium (Cd) et évaluation de leur potentiel de bioremédiation.

Description de la mesure : Caractériser les populations associées aux sols des plantations de cacao où du Cd est présent et évaluer le potentiel de bioremédiation de certains microorganismes isolés, en laboratoire et dans le cadre de bio-essais en serre. Les techniques qui dépendent des méthodes culturales (isolation, caractérisation phénotypique et génotypique et analyse du potentiel de l'activité biologique) et les techniques indépendantes des cultures (techniques de séquençage de dernière génération [NGS] et analyse des gènes marqueurs (RNAr 16S)) complémentaires les unes des autres et qui permettent, d'un côté, d'étudier la diversité structurelle de ces communautés microbiennes et, de l'autre, de réaliser une bioprospection des organismes isolés. Pour caractériser les microorganismes impliqués, les méthodes de microbiologie qui dépendent des cultures et les techniques moléculaires serviront à élucider l'identité et les caractéristiques des espèces impliquées dans le processus.

Lieu de l'étude :

Exploitation 1 : Latitude 06-55-24.3 Longitude 073-28-40.5 ; Exploitation 2: Latitude : 06-53-10.2 Longitude 073-23-13.8 ; Exploitation 3: Latitude : 06-54-14.3 Longitude 073-22-15.6 ; Exploitation 4: Latitude : 06-54-49.4 Longitude 073-44,1-178.

Exploitation 1 pH du sol acide/haute concentration de Cd dans le sol. Exploitation 2 pH du sol acide et faible Cd total dans le sol. Exploitation 3 pH neutre/basique et haute teneur totale de Cd dans le sol. Exploitation 4 pH du sol neutre/basique et faible teneur totale en Cd dans le sol.

L'étude a commencé en 2015 et se terminera en 2019

Volume couvert par l'étude et surface de la parcelle : Nombre total d'arbres : 3 200, environ 3,5 ha.

Les variétés de cacao étudiées sont les suivantes : ISC95, ISC60-39, CCN51, nouvelles variétés (SYS).

Temps de plantation : Exploitation 1 : 15-20 ans, Exploitation 2 : 40-50 ans, Exploitation 3 : 5-10 ans, Exploitation 4 : 6-80 ans.

Date d'échantillonnage par rapport à l'application de la mesure : Semestre I, 2017. 3 échantillons par plantation, environ tous les 2 mois.

Nombre d'échantillons prélevés : 12 échantillons au total (3 par plantation). Chaque échantillon composite a été formé de sous-échantillons (n = 18) en sélectionnant au hasard et en zigzag des cacaoyers ayant une bonne situation phytosanitaire, en nettoyant la surface de la terre (sous l'arbre) et en creusant un trou de la profondeur indiquée. Pour la collecte et la gestion finale des échantillons, le NTC 4113-6 (2) a été adopté. Chaque échantillon composite (2 Kg).

Concentrations de Cd de chaque échantillon : La concentration de cadmium dans le sol est variable, les échantillons se sont avérés contenir 44 mg/100 g et jusqu'à 0,01 mg/100 g. Il s'agit d'un préambule. La suite n'en a pas encore été développée. Les États-Unis ont fait remarquer que les concentrations données sont déroutantes. 44 mg/100 g correspond à 440 ppm, soit une très forte contamination ; alors que « jusqu'à 0,01 mg/100 g » est égal à 0,1 mg/kg, soit une concentration relativement faible de Cd dans le sol.

68. COLOMBIE

Gutiérrez E et León C. 2017.

Étude d'évaluation des amendements afin de résoudre les problèmes de concentrations de Cd dans le sol et les grains secs. Années 2010 à 2012 – Santander : Les détails suivants ont été précisés :

Les directives de Kelley ont été suivies pour la classification des sol contaminés par le Cd ; ces valeurs exprimées en mg/kg de sol sec varient entre :

Valeurs normales de sols non contaminés (mg/kg de sol)	Contamination légère (mg/kg de sol)	Contamination (mg/kg de sol)	Contamination élevée (mg/kg de sol)	Contamination anormalement élevée (mg/kg de sol)
0 – 1	3 – 5	5 – 10	10 – 20	> 20 Ces fourchettes suggérées de différentes classes de contamination des sols sont déroutantes. Les sols présentant plus de 1,0 mg de Cd/kg sont déjà inhabituels. Les sols naturels sont généralement définis entre 0 et 0,7 par certains auteurs. Et, comme il a été souligné plus haut, lorsque des sols sont riches en Cd mais pas en Zn, le Cd de ce sol comporte des risques nettement supérieurs qu'en présence de ratios Cd:Zn

595 échantillons ont été prélevés dans 59 municipalités de onze (11) provinces.

Dans ces échantillons de sols, les analyses suivantes ont été réalisées : Chimique : Complète + éléments mineurs de 0 à 30 cm., Physique : Densité apparente et réelle, et texture avec la méthode Bouyoucos de 0 à 30 cm, Cadmium total et Cadmium disponible à 0-30 cm et Cadmium total et Cadmium disponible à 30-60 cm.

Dans l'échantillonnage des coques, ce qui suit a fait l'objet d'analyses : Fève de cacao sèche avec coque et fève de cacao sèche sans coque.

Laboratoire – Domaine : Chimie analytique, matériel utilisé : spectrophotomètres AA (240FS/280FS) et spectrophotomètre (ICP-OES) ICAP 6500 – Thermo Scientific.

Résultats obtenus :

Référence définie par la concentration totale de Cd, présent dans les sols des plantations de cacao : Sur 207 échantillons analysés, des concentrations hautement variables de Cd ont été trouvées dans les différentes zones d'échantillonnage (entre 0 et 1 mg/kg à > 10 mg/kg).

Les échantillons de fèves de cacao pour lesquelles il existe une limite maximale autorisée de Cd de 0,5 mg/kg : 175 (84,5 %) étaient en-dessous de cette limite légale et 32 (15,4 %) la dépassait. Pour les dernières zones, une corrélation très importante ( $r = 0,652$  et  $p > 0,001$ ) a été trouvée entre la concentration de cadmium de la fève et le cadmium disponible dans les sols.

Une évaluation de l'état nutritionnel des sols des plantations de cacao a révélé ce qui suit :

La valeur moyenne du pH du sol dans les municipalités cacaoyères, où 40 % des sols ont des teneurs en Al interchangeables, est de 5,6, ce qui est considéré comme modérément acide.

76 % des sols présentent une faible concentration en matière organique.

49 % des sols des plantations de cacao présentent des déficiences en phosphore, une réponse que l'on observe fréquemment dans plus de 70 % des sols du pays en raison de leur acidité.

En référence aux bases de K, de Ca et de Mg des sols et à leurs relations, on observe que 85 % des sols des plantations de cacao présentent une déficience en K, 16 % une faible concentration en Mg et 65 % un ratio Ca/Mg adéquat.

Les effets de trois traitements (compost et/ou biofertilisants ECOCACAO), biofertilisant organique (vermicompost et/ou lisier de volaille) + mycorhizes + chaux dolomitique, et une combinaison de chaux dolomitique, d'une source de phosphore, d'une source de potassium, d'un sol mycorhizien et d'un engrais biologique ont été évalués. L'étude a porté sur six plantations d'une parcelle expérimentale d'environ 1 200 m<sup>2</sup> (144 cacaoyers).

Les niveaux de chaque application d'engrais sont, pour la chaux dolomitique 1,5 à 2,5 kg/plant, pour le K 300 à 350 g/plant, pour le P 35 à 50 g/plant, pour les matières organiques 350 g/plant et pour les sols mycorhizés (20: 1).

L'analyse de la variance ne montre pas de différences statistiques pour les propriétés des sols dues à l'effet des traitements d'assainissement appliqués au sol et ne montre aucun changement des propriétés des sols.

Concernant la présence de cadmium total et de cadmium disponible dans les sols, dans le fève de cacao et les tissus foliaires (les feuilles), l'analyse de la variance n'identifie pas de différences parmi les traitements dans les municipalités évaluées.

#### 69. ÉQUATEUR

SENESCYT (2011). Projet : Assainissement de sols contaminés par la présence de cadmium dans les zones les plus polluées des provinces de Manabí, Santa Elena et El Oro.

Les détails de l'étude sont les suivants :

L'étude a été réalisée entre juillet 2012 et décembre 2014.

Les échantillons ont été prélevés dans la province d'El Oro, dans la localité de Pasaje à la plantation Rio Grande ; dans la province Peninsula de Santa Elena, dans la localité de Cerecita à la plantation La Mejor et dans la province de Manabí, dans la localité de Canuto à la plantation « expérimentale ». Les parcelles expérimentales contenaient 20 plants chacune, dont six plants centraux ont été identifiés pour surveiller l'évolution des concentrations de Cd dans le temps.

Huit amendements ont été évalués :  $MgCO_3$ , vinasse, zéolites, humus, charbon,  $CaSO_4$ , cachaza et  $ZnSO_4$  ; appliqués en deux doses aux variétés de cacao CCN51 dans les provinces de Santa Elena et d'El Oro et la variété Nacional de cacao dans la province de Manabí.

L'application des amendements a été faite en fonction des caractéristiques des sols.

Les résultats sont :

À Santa Elena Peninsula, El Oro et Manabí, le sol a répondu à l'application de 1 MT/ha et de 2 MT/ha des huit amendements, car il a été possible de réduire les concentrations de Cd de manière significative aux quatre profondeurs évaluées (de 0 à 5 cm, de 6 à 10 cm, de 11 à 15 cm et de 16 à 20 cm) par rapport aux concentrations des parcelles témoins (traitement sans amendement).

Dans le sol de Santa Elena Peninsula, l'application de la dose de 1 MT/ha d'humus et de sulfate de calcium a fait baisser la concentration de Cd dans les parcelles témoins de 1,76 mg/kg à 1,10 mg/kg dans les 5 premiers cm du sol. Avec l'application de 2 MT/ha, elle a été réduite de 1,76 mg/kg dans les parcelles témoins à 1,02 mg/kg avec l'utilisation de charbon.

En général, il a été observé que tous les amendements appliqués au sol influençaient la baisse de la concentration de Cd dans les fèves de cacao. À la fin de l'étude, il a été déterminé que le sulfate de calcium et le cachaza ont réussi à réduire les concentrations de Cd respectives dans les fèves de cacao de la péninsule de Santa Elena de 46 et 44 %.

À El Oro, lorsque 1 MT/ha de vinasse a été appliquée, les concentrations de Cd dans le sol sont passées de 4,87 mg/kg à 2,38 mg/kg et lorsque 2 MT/ha ont été appliquées, la zéolite a réduit ces concentrations à 2,29 mg/kg.

Dans le cas de El Oro, les amendements à la dolomite et à la vinasse ont respectivement réduit les concentrations de Cd dans les fèves de cacao de 48 et 45 %.

À Manabí, les parcelles témoins présentaient 1,35 mg/kg de Cd dans les 5 premiers cm du sol, avec une baisse régulière parallèlement à l'augmentation de la profondeur. 1 MT/ha de carbonate de calcium a permis de réduire les concentrations à 0,57 mg/kg et, avec une forte dose de 200 kg/ha de sulfate de zinc, les concentrations ont été réduites à 0,59 mg/kg.

Enfin, à Manabí, tous les amendements à l'exception du carbonate de magnésium ont eu des résultats similaires, avec une réduction de 30 % des concentrations de Cd dans les fèves de cacao.

#### 70. BRÉSIL

Carrillo, M., et al. 2010.

Estudio : Efeito of different conditioners na mobilidade of cádmio em dois latossolos brasileiros.

Les détails de l'étude sont les suivants :

L'objectif de l'étude était d'évaluer le mouvement du Cd dans le profil du sol affecté par l'ajout de trois amendements organiques (vermicompost, tourteau de canne à sucre et de palmiste) et de trois minéraux (calcaire, apatite et zéolite) dans deux Oxisols brésiliens (Tiro de Guerra et Tres Mariás) aux textures respectivement argileuse et moyenne, afin de connaître la rétention du Cd dans les sols en utilisant la méthode de la lixiviation en colonnes.

Résultats :

La chaux et le tourteau de canne à sucre présentent un meilleur potentiel de réduction des flux de Cd dans le profil du sol.

Une autre option consiste à appliquer des zéolites dans les sols contenant beaucoup de sable et d'apatite ou de texture argileuse.

#### 71. ASSOCIATION INTERNATIONALE DE LA CONFISERIE

Dans ses observations en réponse à la lettre circulaire CL 2018/73-CF sur les recherches sur l'atténuation, l'Association internationale de la confiserie basée à Bruxelles fait référence à une étude réalisée entre 2014 et 2017 au Cocoa Research Center de l'Université des West Indies avec le soutien du Joint Research Fund de CAOBISCO / ECA / FCC, qui permet de mieux comprendre les différents facteurs qui affectent la disponibilité du Cd et l'absorption du métal.

Trois solutions d'atténuation possibles ont été proposées :

Greffer des plantes avec des porte-greffes ayant une faible concentration en cadmium.

Obtenir de nouvelles variétés moins sujettes à l'absorption de Cd et modifier les sols pour réduire l'absorption de Cd par les plantes.

D'un autre côté, la synthèse des mesures démontrée spécifie ce qui suit :

Les analyses des sols ont montré une corrélation positive entre les teneurs les plus élevées de Cd dans le sol et dans les tissus des plantes et les fèves de cacao.

Il semble également y avoir une forte corrélation entre l'absorption du Cd par les cacaoyers et l'acidité du sol. Une forte acidité du sol correspond généralement à une plus forte accumulation du cadmium.

Il semble y avoir une corrélation entre l'emploi d'engrais phosphatés et l'absorption du cadmium par le cacaoyer.

Les fèves de cacao de différentes zones de culture d'un même pays et dans différents pays présentent des concentrations en cadmium très différentes.

Les propositions suivantes visent à remédier aux mesures susmentionnées :

L'analyse des sols doit être obligatoire pour chaque nouveau producteur de cacao afin d'identifier les sols les moins chargés en cadmium. Les zones présentant des niveaux élevés de cadmium doivent être affectées à d'autres types de cultures commerciales, comme le café ou les plantes à faible absorption de cadmium, ou utilisées pour la culture du cacao, une fois que les niveaux de Cd dans le sol auront été ramenés à un niveau acceptable. L'emploi d'engrais phosphatés doit être minimisé.

#### 72. FOODDRINK EUROPE

FOODDRINK EUROPE, basée à Bruxelles.

Dans sa synthèse des mesures démontrées, l'organisme a spécifié ce qui suit :

La contamination des fèves de cacao par le Cd dépend dans une large mesure de la concentration de Cd dans le sol et de sa biodisponibilité.

La biodisponibilité du cadmium dépend de ce qui suit :

- pH du sol
- La teneur en matières organiques.
- La déficience en nutriments spécifiques.
- Les ions Cl<sup>-</sup> dans le sol.

Les travaux du Cocoa Research Center (CRC), avec le soutien du Joint Research Fund de FCC/ECA/CAOBISCO, portent sur la gestion de tous les paramètres mentionnés, à l'exception des ions de Cl<sup>-</sup> dans le sol.

La méthode la plus efficace développée jusqu'ici est le chaulage des sols dont le pH est inférieur à 5,5.

Il a été démontré que le fait d'augmenter le pH de 1 unité permet de réduire de 1/10 la teneur en Cd des fèves.

Il a également été démontré que l'application de biocharbon réduit la biodisponibilité du Cd dans les fèves de cacao. Le taux de réduction est comparable à celui du chaulage et a une influence supplémentaire à celle du chaulage.

La contamination des fèves de cacao par le Cd dépend également de la variété de cacao. Dans l'étude du CRC susmentionnée, 10 génotypes présentant une faible bioaccumulation du Cd et susceptibles d'en diviser par 7 la concentration dans les grains ont été identifiées.

Outre les mesures précédentes visant à réduire la contamination des fèves de cacao par le Cd, en raison de la contamination géologique naturelle du cacao, la contamination des sols peut être due :

- À des engrais contaminés.
- À une eau d'irrigation contaminée.
- À des eaux d'inondation contaminées.

Toute autre contamination doit être évitée en sélectionnant soigneusement les engrais, l'eau d'irrigation et en prévenant les inondations. Les mesures suivantes sont également décrites :

Gestion du pH du sol par chaulage.

Il convient en premier lieu de consigner les paramètres du sol suivants : Cd total, biodisponibilité du Cd, pH du sol, composition physique du sol, teneur en matières organiques et capacité d'échange cationique avec l'assistance de laboratoires certifiés. Sur la base de cette exigence, le chaulage peut être calculé et, selon son efficacité, le taux de chaulage peut être ajusté.

Dans la deuxième phase du projet, des essais sont réalisés sur le terrain afin de mieux déterminer l'efficacité du chaulage et du biocharbon, y compris la fréquence et les méthodologies d'application. D'autres paramètres font l'objet de recherches, portant par exemple sur la disponibilité et la productivité des nutriments.

Les génotypes ayant une faible bioaccumulation du Cd identifiés par notre étude (Lewis et al., 2018) peuvent être utilisés en tant que porte-greffes dans la production de matériels de multiplication pour réduire l'absorption du Cd.

D'autres études sont réalisées dans le cadre d'expériences hydroponiques destinées à comprendre si les différences observées par Lewis et al (2008) sont dues aux différences au niveau de la génétique ou de la morphologie des racines. Des bioaccumulateurs présentant une faible concentration de Cd sont testés en tant que porte-greffes en raison de leur efficacité.

### 73. PÉROU

Garcia, J. et Garcia L. 2018. Sélection génétique avec accumulation réduite du cadmium

Afin d'étudier la cinétique d'accumulation des métaux lourds Cd et Pb dans différents clones de cacao et d'identifier ceux qui présentent une accumulation réduite dans les organes reproducteurs, cet essai de juin à novembre 2017 a été réalisé à la Station Tulumayo, Tingo Maria. Le matériel génétique prometteur (clones) de cacao utilisé est le résultat d'un processus de sélection individuelle-hybridation-sélection généalogique, réalisé par le programme d'amélioration génétique du cacao initié en 1995 et dirigé par M.Sc. Luis García, professeur associé de l'Université agraire nationale de La Selva – Tingo María, Huánuco (Pérou). À l'exception du clone S-60 (sélectionné dans la plantation) de San Martin, les autres clones ont leurs généalogies respectives qui avaient déjà été caractérisées sur le plan morpho-agronomique et publiées dans le catalogue des cultivars de cacao du Pérou (2012). Les clones S-8 et S-12 sont des hybrides issus du croisement entre 2 clones Trinitarian. Le clone S-23 est un hybride du croisement de 2 clones de Forastero Alto Amazónico, sa mère provenant d'Iquitos et son père de Cuzco. Le clone S-28 est un hybride issu du croisement entre 2 clones, le premier Trinitarian et le second Stranger de la Haute Amazonie (Ucayali) :

Nº	CODE	GÉNÉALOGIE	LIEU DE SÉLECTION
1	S-8	(ICS-95 x UF-296), 8	Station de Tulumayo
2	S-12	(ICS-95 x UF-296), 12	Station de Tulumayo
3	S-23	(IMC-67 x U-68), 16	Station de Tulumayo

4	S-28	(ICS-1 x SCA-6), 20	Station de Tulumayo
5	S-60	Inconnu	Champ de producteurs de San Martin

En conséquence, il y a eu une tendance à une réduction du Cd de juin à septembre (mois de faibles précipitations) et à une augmentation en octobre et novembre (mois de fortes précipitations). En général, l'accumulation de Cd était plus importante dans les feuilles (1,288 ppm) et plus faible dans les graines (0,894 ppm) en moyenne. De même, il y avait des réponses différentielles entre les clones, les clones S-08 et C-60 ayant les plus faibles accumulations de Cd, soit des accumulations respectives de 0,650 ppm et de 0,815 ppm dans la fève. En outre, des interactions synergiques pertinentes ont été trouvées entre Cu/Zn, Mn/Fe, Fe/Zn et Cu/Pb, et des interactions antagonistes entre Cd/Zn et Cd/Cu.

Les études futures de la cinétique d'accumulation du Cd et d'autres métaux lourds dans les fèves de cacao devront être réalisées toute l'année et pour chaque phase phénologique, en incluant d'autres clones de cacao d'origine génétique différente et à potentiel hypo-accumulatif.

#### 74. PÉROU

Dávila C., 2018a. Technological package to decrease Cd content in cocoa beans [Approche technologique pour réduire la concentration du Cd dans les fèves de cacao].

La Cooperativa Agroindustrial Cacao Alto Huallaga (CAICAH) située à Tingo Maria, Huánuco a diagnostiqué le Cd des fèves de cacao de ses associés et déterminé une concentration moyenne de 0,84 ppm.

À ce jour, la CAICAH a développé une série de technologies à appliquer pour réduire la concentration en cadmium dans les fèves de cacao.

Après 2 ans de recherches, nous pouvons donner les technologies les plus efficaces en ce sens :

Le chaulage des sols (pH inférieur à 5,5). Dans les sols acides, le Cd est plus disponible et peut être facilement absorbé par les plantes. Le chaulage apporte du calcium à la solution du sol, qui est un antagoniste du Cd. Il permet aussi d'augmenter le pH et les charges négatives du sol, ce qui facilite l'adsorption et la complexation du cadmium dans le sol, et le rend indisponible pour les plantes. Les matières flottantes qui peuvent être utilisées pour augmenter le pH du sol sont les suivantes : la chaux agricole  $[Ca(OH)_2]$ ,  $SiO_2$ ,  $CaSO_4$ , la chaux éteinte  $[Ca(OH)_2]$  et la dolomite  $[CaMg(CO_3)_2]$ . Le projet de la CAICAH a évalué l'effet de la dolomite sur la baisse du cadmium dans les fèves de cacao, trois traitements ont été utilisés : 1,80 kg de dolomite/plant, 2,70 kg de dolomite/plant et 3,60 kg de dolomite/plante, avec les résultats suivants après un an : 0,52 ppm, 0,47 ppm et 0,45 ppm de Cd dans les fèves de cacao pelées respectivement, via la méthode officielle 999.1 1-AOAC.

Conclusion : L'application de dolomite dans les plantations de cacao réduit la concentration de cadmium dans les fèves, l'effet est donc positif.

#### **Application de matières organiques (compost, lisier de volaille, humus, lisier, etc.)**

Grâce aux groupes fonctionnels (OH, COOH,  $NH_2$ ,  $CONH_2$ , CO, quinones, etc.) des substances humiques, les matières organiques réagissent avec le Cd, donnant lieu à des chélates, ou complexes du Cd ; entraînant la disponibilité de l'absorption de Cd dans les plants. Les matières organiques apportent du carbone aux microorganismes du sol, ce qui contribue à accroître la population microbienne et son activité enzymatique. Les microorganismes du sol permettent la précipitation, la séquestration, la volatilisation et la complexation du cadmium, ce qui favorise l'adsorption du Cd dans le sol. On peut utiliser du compost, du lisier de volaille, du humus, du lisier, etc. ; les quantités à appliquer par ha dépendront de la concentration en matières organiques du sol indiquée dans l'analyse de caractérisation. En général, le sol doit être traité avec une teneur moyenne de 3 à 4 %, afin de préserver ses caractéristiques physiques, chimiques et biologiques. La CAICAH a évalué l'effet du compost et du lisier sur la réduction du Cd dans les fèves de cacao.

Les traitements suivants ont été utilisés. Compost : dose de 27,00 kg/plant ou de 30,00 MT/ha, de 54,00 kg/plant ou de 60,00 MT/ha et de 81,00 kg/plant ou de 90,00 MT/ha. Lisier de volaille : dose de 27,00 kg/plant ou de 30,00 MT/ha, de 54,00 kg/plant ou de 60,00 MT/ha et de 81,00 kg/plant ou de 90,00 MT/ha. Parcelle témoin : dose de 00,00 kg/plant ou de 0,00 MT/ha. Après un an d'évaluation, la concentration en Cd a été observée pour chaque traitement au compost : 0,08 ppm, 0,17 ppm, 0,11 ppm ; au lisier de volaille : 0,09 ppm, 0,22 ppm, 0,28 ppm et dans la parcelle témoin : 0,19 ppm. Conclusion : L'application de matières organiques dans les plantations de cacao diminue le cadmium dans les fèves de cacao, jusqu'à des valeurs très réduites de 0,08 ppm. Les États-Unis ont fait observer que le Cd ne peut être volatilisé en-dessous de 800°C environ. Le Cd dans le sol

peut être plus fortement adsorbé et lessivé, mais pas volatilisé. En outre, les matières organiques permettent d'augmenter la capacité d'échange cationique.

#### Utilisation de sulfate de zinc dans les formules des engrais

Le Zn a un effet antagoniste avec le Cd ; des études vénézuéliennes ont déterminé qu'un ratio Zn/Cd supérieur à 1 000 entraînait une baisse de l'adsorption du Cd dans les fèves de cacao, déterminé à 0,05 ppm au maximum.

La CAICAH a réalisé des études utilisant trois (3) doses de sulfate de zinc pour réduire la concentration de Cd dans les fèves de cacao en utilisant les traitements suivants : 0,00 kg de sulfate de zinc/plant, 0,09 de sulfate de zinc/plant, 0,18 de sulfate de zinc/plant et 0,27 de sulfate de zinc/plant. Après un an d'évaluation, les résultats suivants ont été obtenus : 1,92 ppm, 1,83 ppm, 1,86 et 1,49 ppm respectivement.

Conclusions : Le sulfate de zinc a un effet positif sur la réduction de la concentration de cadmium dans les fèves de cacao. L'application de sulfate de zinc a été réalisée parallèlement à une fertilisation équilibrée réalisée annuellement dans la plantation de cacao, conformément aux exigences des cultures et du sol (analyse de caractérisation).

#### Traitement des fèves de cacao après la récolte

Le cacao CCN-51 est un clone avec une forte concentration de mucilage, supérieure à celle des cacaos créoles. Des études réalisées par la CAICAH ont montré des quantités de Cd dans le mucilage supérieures à celles des coques et des grains. On peut supposer que, pendant le processus de fermentation du grain, du Cd pourrait passer du mucilage aux cotylédons. Afin de clarifier cette hypothèse, le mucilage des fèves de cacao a été asséché pendant 24 heures dans des filets avant d'être mis dans des boîtes de fermentation pour obtenir une réduction de 29,12 % de la concentration de Cd dans les fèves par rapport aux fèves témoins (fèves de cacao sans assèchement du mucilage). Les résultats obtenus sur la concentration de Cd dans les fèves de cacao sont : T1 (levure, estimation basse, sans séchage = 0,48 ppm), fèves témoins (sans levure, sans séchage = 0,46 ppm), T2 (séchage de 24 heures = 0,33 ppm), T3 (levure, estimation basse, sans séchage, lavage des fèves = 0,63 ppm).

Conclusion : Le séchage du mucilage a eut un effet positif sur la réduction du Cd dans les fèves de cacao.

**Remarque** : La quantité de mucilage évacué des fèves de cacao n'avait pas affecté les qualités physiques ou organoleptiques du cacao à l'heure de l'évaluation.

#### 75. PÉROU

Dávila, C. 2018c. "Effect of compost and chicken manure on the physicochemical properties of the soil and cadmium content of the dry cocoa beans (*Theobroma cacao* L), CCN-51" [Effet du compost et du fumier de poulet sur les propriétés physicochimiques du sol et la teneur en cadmium des fèves de cacao sèches (*Theobroma cacao* L), CCN-51]

La matière organique a été étudiée comme source de séquestration et de complexation du cadmium et il a été conclu que dans les fèves de cacao son niveau ne dépasse pas 0,50 ppm.

L'effet du compost et du fumier de poulet sur les propriétés physicochimiques du sol et sur la teneur en Cd des fèves de cacao sèches CCN-51, de la ferme « San Pedro », maison de campagne Trampolín, district Daniel Alomía Robles, province Leoncio Prado, région Huánuco, a été évalué pendant les mois de février à novembre 2015.

L'étude a été menée dans une plantation de cacao clone CCN-51 de 8 ans en fonctionnement, sur des sols dégradés où le cacao était auparavant cultivé. Avec des niveaux initiaux de cadmium dans les grains de 3,55 ppm (les limites maximales autorisées de Cd sont de 0,50 ppm), cette plantation a actuellement la certification biologique, avec une production approximative de 500,00 kg/ha/an. L'unité physiographique correspond à Lomada, climat de forêt tropicale très humide (vhf-T), avec une température moyenne de 25,53 °C, des précipitations moyennes de 219,13 mm/mois, une humidité relative moyenne de 83,4 %, une moyenne de 158,63 heures d'ensoleillement, qui au mois d'août était supérieure, à une altitude de 740 mètres au-dessus du niveau de la mer et dont les coordonnées géographiques sont les suivantes : mN 8981978, mE 395270.

D'après son analyse physico-chimique, le sol est de texture limoneuse, pH légèrement acide, matière organique moyenne, N à un niveau moyen, P à un niveau élevé et K à un niveau faible, une capacité d'échange cationique égale à 10.03 meq/100 g de sol ; avec Cd disponible de 2.72 ppm.

Le désherbage a été effectué manuellement (machette) et mécaniquement (débroussailleuse) ; ensuite, le traitement consistait à utiliser du compost et du fumier de poulet dans différentes proportions : 27,00, 54,00, 81,00 kg/plant chacun, en utilisant 30,00, 60,00, 90 MT/ha pour chaque combinaison, avec 6 traitements et un groupe témoin. La formule d'engrais utilisée était la formule standard (60 – 70 – 60), calculée pour une production estimée de 1 000 kg de fèves sèches par ha pour l'année 2015. Les intrants utilisés comme

macronutriments ont été le sulpomag, le guano des îles dont la teneur en  $P_2O_5$  a couvert les besoins de la plantation, car le sol a un  $pH > 5,5$ . Les micronutriments utilisés étaient l'ulexite (B) à une dose de 20,00 kg/ha, le sulfate de Zn, le sulfate de Fe et le sulfate de Cu, chacun des sulfates étant utilisé à une dose de 5,00 kg/ha.

Le plan expérimental était celui du plan en blocs complets randomisés (RCBD d'après les sigles en anglais), avec 7 traitements et 4 répétitions, le test de Duncan avec un niveau de signification de  $\alpha = 0,05$  a été utilisé pour l'analyse de la variance et de la comparaison des moyennes.

L'analyse du cadmium total dans les échantillons de cacao a été effectuée par la méthode humide, en excluant la testa des graines, conformément au protocole, et la quantification du Cd disponible dans les sols a été effectuée par la méthode indiquée par WETERMAN.

Il a été montré que le Cd augmentait dans le sol à mesure que les doses de compost et de fumier de poulet augmentaient, sans dépasser la norme environnementale pour les terres agricoles qui est de 1,40 ppm de Cd (ministère de l'Environnement, 2017). Dans les fèves de cacao, l'effet du compost et du fumier de poulet sur la teneur en Cd n'est pas statistiquement significatif entre les traitements, mais mathématiquement oui. Il a été déterminé que le traitement T1 (compost à 30 Mt/Ha) avait une teneur plus faible en Cd dans les fèves avec 0,076 ppm (diminution de 59,114 % de Cd par rapport au témoin) et une matière organique de 3,74 %, ce qui explique que le contenu plus élevé de matière organique dans le sol empêche l'absorption de Cd par les plants dans les différents organes. Le pH enregistré était de 4,87, ce qui confirme que, dans des conditions acides, la matière organique du sol est la variable la plus importante qui régit la biodisponibilité du Cd dans le sol.

En ce qui concerne le fumier de poulet : le traitement le plus efficace pour réduire la teneur en Cd dans les fèves de cacao a été le T4 (fumier de poulet à 30,00 t/ha) avec 0,086 ppm de Cd, ce qui s'explique par la teneur la plus élevée en matière organique dans le sol (3,82 %), corroborant le fait que les plants absorbent moins de Cd lorsque le sol a une teneur plus élevée en matière organique. Des doses supérieures à 30 t/ha de compost et de fumier de poulet ont augmenté la teneur en Cd dans les fèves de cacao sèches, par rapport au traitement T1.

Les traitements T6 et T5 enregistrent la plus haute teneur en Cd dans les fèves de cacao suite à l'application de quantités supérieures à 30 t/ha de fumier de poulet, ce qui contribue à l'absorption de Cd par le cacao, indiquant que des volumes supérieurs à 30 t/ha de compost et de fumier de poulet ne sont pas nécessaires pour diminuer les niveaux de Cd dans les fèves de cacao, de sorte que des quantités inférieures doivent être utilisées.

Le chercheur recommande de poursuivre les recherches sur la biorémédiation du Cd dans la culture et la production de cacao, dans d'autres types de sols et dans différents lieux présentant des teneurs significatives en Cd dans les fèves ; il indique que le processus d'humification de la matière organique dans le sol est lent ; il suggère également que les travaux de cette nature soient évalués au moins deux ou trois ans pour obtenir de meilleurs résultats.

## 76. PÉROU

Falcon, G et Davila, C. 2019. « Effect of fermentation on the content of Cd and total polyphenols of cocoa beans (*Theobroma cacao* L.) Clon CCN-51 » [Effet de la fermentation sur la teneur en Cd et en polyphénols totaux des fèves de cacao (*Theobroma cacao* L.) Clon CCN-51]

Dans la présente étude, la fermentation des fèves a été réalisée sous certaines conditions, telles que l'égouttage du jus et l'utilisation de levures ; étant donné que le jus et la pulpe de cacao contiennent en moyenne 6,80 ppm de cadmium (IPNI, 2015) et que les micro-organismes tels que les levures ont la propriété de séquestrer le Cd dans leurs parois cellulaires et donc de diminuer la concentration de Cd dans les fèves de cacao.

Objectif général : Évaluer l'effet du processus de fermentation sur la teneur en Cd et en polyphénols totaux des fèves de cacao du clone CCN-51.

Objectifs spécifiques : Déterminer l'effet de la fermentation sur la teneur en macro et microéléments (Cd) des fèves de cacao du clone CCN-51.

La présente enquête a été réalisée au cours des mois d'octobre, novembre et décembre de l'année 2018, dans le centre d'opérations de la Cooperativa Agroindustrial Cacao Alto Huallaga (CAICAH), situé dans le district de Castillo Grande, province de Leoncio Prado, région de Huánuco. Selon la classification du scientifique américain Holdridge, cette zone correspond à un climat de forêt tropicale très humide (vhf – T), température moyenne 26 ° C, humidité relative 84 %, coordonnées géographiques : mE 0389535 et mN 8974399 avec une altitude de 654 mètres au-dessus du niveau de la mer.

La parcelle d'où ont été extraites les fèves de cacao est appelée « El Mirador », appartenant à Mme Cecilia Huancho Hualinga, située dans le hameau de Venenillo, district de José Crespo y Castillo, province de Leoncio Prado, région de Huánuco ; il s'agit d'une parcelle de 8 ha, elle a un cultivar CCN-51 de 12 ans, sans ombre,

actuellement cette parcelle dispose d'une certification biologique, avec une production estimée de 1 000 kg/ha/an de fèves sèches. L'unité physiographique où est installée la plantation de cacao correspond à une terrasse moyenne, dont la teneur initiale en Cd disponible dans les sols et en Cd total de la fève de cacao était respectivement de 0,18 et 1,80 ppm. Les données météorologiques, obtenues de la station météorologique expérimentale « José Abelardo Quiñones » de Tingo María, correspondant à l'année 2018 montrent les valeurs moyennes suivantes : température 25,41 °C, précipitations 297,94 mm/mois, humidité relative 84,08 % et les heures d'ensoleillement étaient de 145,59, celles-ci étant plus élevées au mois d'août.

Le tableau 7 montre l'analyse physico-chimique du sol de la parcelle El Mirador.

**Tableau 7. Analyse physico-chimique du sol (parcelle).**

Paramètre	Valeur	Méthode utilisée
Analyse physique :		
Sable (%)	16,00	Hydromètre
Argile (%)	19,00	Hydromètre
Limon (%)	65,00	Hydromètre
Classe de texture	Limoneux fin	Triangle de texture
Analyse chimique :		
pH (1 : 1) dans l'eau	7,15	Potentiomètre
M. O. (%)	1,48	Walkey et Black
N – Total (%)	0,07	% M.O. x 0,05
Phosphore disponible (ppm)	10,00	Olsen modifié
Potassium disponible (ppm)	71,00	Acétate d'ammonium
Pb disponible (ppm)	-	-
Cd disponible (ppm)	0,18	EDTA – AAE
Ca échangeable (cmol+)/kg)	9,66	AAE
Mg échangeable (cmol+)/kg)	1,41	AAE
K échangeable (cmol+)/kg)	0,06	AAE
Na échangeable (cmol+)/kg)	0,94	AAE
Al échangeable (cmol+)/kg)	....	Yuan
H échangeable (cmol+)/kg)	....	Yuan
CIC	12,07	AAE
Alcalinité d'acidité échangeable (%)	100,00	Ca + Mg + K + Na/CIC x 100
Acidité échangeable (%)	0,00	CIC – alcalinité d'acidité échangeable
Saturation d'Al (%)	0,00	

Source : Laboratoire des sols de l'Université nationale agraire de La Selva – UNAS.

Méthodes – Composants de l'étude

On a utilisé des fèves de cacao CCN-51 fraîches, égouttées et non égouttées, qui ont atteint la maturité physiologique optimale d'une plantation adulte de 12 ans.

La levure utilisée dans cette recherche est la souche *Saccharomyces cerevisiae*, qui a une grande affinité pour les métaux lourds, obtenue sur le marché de Tingo María.

La description des traitements étudiés est présentée dans le tableau 8.

**Tableau 8. Description des traitements à l'étude**

Traitements	Description
T <sub>0</sub>	Fève fermentée et non égouttée
T <sub>1</sub>	Fève fermentée et égouttée pendant 36 heures
T <sub>2</sub>	Fève fermentée et non égouttée + <i>Saccharomyces cerevisiae</i> à 1 % p/p
T <sub>3</sub>	Fève non fermentée (témoin)

#### Exécution de l'expérience

##### Sélection du clone de la parcelle de cacao CCN-51

Avant de commencer l'étude, l'échantillonnage et la quantification du Cd total de plusieurs parcelles de cacao ont été effectués afin d'identifier celle dont la teneur en Cd est supérieure à 1,50 ppm. La parcelle de cacao sélectionnée avait une teneur totale en Cd de 1,80 ppm, sans compter la coque.

##### Collecte des fèves de cacao

Les cabosses physiologiquement matures de la parcelle de cacao sélectionnée ont été récoltées. L'écabossage a été effectué à l'aide d'une machette sans tranchant ; les fèves de cacao ont été déposées dans des seaux en plastique, en évitant à tout moment l'écoulement du mucilage ; l'après-midi, à 16h00 en moyenne, les fèves ont été transférées au centre de collecte de la CAICAH dans des caisses en bois de 200 L. Les fèves ont été transportés le jour même de la récolte, à l'aide d'unités motorisées.

##### Mise en œuvre du traitement – fermentation

La mise en œuvre des traitements a été réalisée selon la méthodologie suivante :

##### Traitement T<sub>0</sub> :

La fève de cacao fraîche, arrivée du champ, a été fermentée dans les caisses en bois ; la masse de cacao a été recouverte de sacs de jute, comme tous les traitements. Les fèves ont été brassées pour la première fois au bout de 48 heures puis toutes les 24 heures. Elles ont fermenté 6 jours au total. 60,00 kg de fèves fraîches ont été utilisées pour chaque répétition. Cette méthode de fermentation est celle qu'utilise la CAICAH pour fermenter ses volumes de cacao.

##### Traitement T<sub>1</sub> :

Pour ce travail, on a utilisé une simple maille de 0,50 cm de diamètre ; on a suspendu la maille avec les fèves fraîches à une traverse en bois pendant 36 heures, pour garantir l'égouttage des fèves. Immédiatement après, la masse de cacao à fermenter a été placée dans les caisses en bois, le premier brassage a été effectué au bout de 48 heures puis toutes les 24 heures. Elle a été fermentée pendant 6 jours. 60 kg de fèves fraîches ont été utilisées pour chaque répétition.

##### Traitement T<sub>2</sub> :

Les souches de *Saccharomyces cerevisiae* ont été appliquées sur les fèves fraîches arrivées du champ. Pour cela, on a pesé 60 g de levure, en les activant pendant une période de 20 minutes dans 120 g de sucre dilué dans 420 ml d'eau à une température de 37 °C ; une fois les souches de levure appliquées, la masse fraîche a été recouverte de sacs de jute, commençant ainsi son processus de fermentation. La masse a été brassée pour la première fois au bout de 48 heures puis toutes les 24 heures. La fermentation des fèves de cacao a duré 5 jours. 60 kg de fèves fraîches ont été utilisées pour chaque répétition.

##### Traitement T<sub>3</sub> :

Les fèves de cacao fraîches provenant du champ ont été séchées par rayonnement solaire direct. Trois (3) kg de grains frais ont été utilisés pour chaque répétition.

Pendant l'expérience, la température quotidienne a été enregistrée pour chaque traitement.

##### Séchage des fèves de cacao

En utilisant des sacs en polypropylène à usage unique, les échantillons de cacao ont été séchés par rayonnement solaire direct, à une humidité approximative de 7 %. Les échantillons de fèves au moment du séchage ont été correctement identifiés par traitement, à l'aide d'un marqueur indélébile et de ruban adhésif de masquage. Une

fois que les échantillons de cacao de chaque traitement ont été séchés, ils ont été codés et envoyés au laboratoire pour leur analyse respective du Cd et des polyphénols.

Teneur en Cd dans les fèves de cacao

Le contenu total en Cd des fèves de cacao a été quantifié par spectrophotométrie d'absorption atomique de flamme (FAAS), en utilisant la méthode officielle de l'AOAC 999.11. Les analyses ont été réalisées dans le laboratoire de chimie agricole « Valle Grande », Cañete, Lima. La méthode utilisée pour la quantification du Cd total de la fève exclut la testa ou la coquille.

La valeur du coefficient de variation (C.V.) pour la teneur en Cd était de 17,97 %.

Le traitement T<sub>3</sub> (fèves non fermentées) présente les teneurs moyennes en Cd les plus élevées avec une valeur de 1,21 ppm ; pour le Cd, la valeur la plus faible est présentée dans le traitement T<sub>2</sub> (fève fermentée et non drainée + *Saccharomyces cerevisiae* à 1 %) avec 0,54 ppm.

La teneur en Cd obtenue dans cette recherche est similaire à celle rapportée par Tantalean (2017) qui a réalisé la caractérisation nutritionnelle de fèves de cacao provenant d'un sol alluvial de la vallée de l'Alto Huallaga, dont la teneur moyenne était de 0,84 ppm.

En général, le traitement T<sub>3</sub> (fève non fermentée – témoin), contient les teneurs les plus élevées en macro et microéléments par rapport aux autres traitements. Ce traitement a atteint le plus faible pourcentage de fermentation (68 %), ce qui pourrait influencer la teneur en nutriments. En d'autres termes, plus le pourcentage de fermentation est faible, plus la teneur en nutriments du cotylédon de la fève de cacao est élevée ; il semble que lorsque le pourcentage de fermentation est faible, les composés organiques présents dans le cotylédon de la fève de cacao ne se dégradent pas et qu'il n'y a donc pas de libération de substances dans l'environnement externe de la fève.

Rappelons que pendant la phase de fermentation, l'humidité de la fève reste supérieure à 35 %, ce qui permet l'activité enzymatique (Thompson et al., 2001, cité par Pancardo, 2016). Le traitement T<sub>2</sub> (grain fermenté non drainé + *Saccharomyces cerevisiae* à 1 %) a obtenu la plus faible teneur en cadmium (0,54 ppm), ceci est peut-être lié à l'activité biologique des levures qui ont la propriété d'absorber les métaux lourds (Cd, Pb et Zn) dans leurs parois cellulaires grâce à des composés organiques appelés peptidoglycane spécifiques de *Saccharomyces cerevisiae*. La souche de *Saccharomyces cerevisiae* est l'une des souches indigènes qui sont intervenues dans la fermentation du cacao, en augmentant sa population dans ce processus, on pourrait améliorer l'absorption de cadmium et améliorer la qualité du cacao (sécurité). La capacité de biosorption de ces microorganismes est due à la quantité de composés organiques capables de séquestrer ou d'échanger des ions métalliques, parmi lesquels des polysaccharides, des glycoprotéines, des flavonoïdes, etc., dans lesquels les centres d'attraction des cations sont les groupes fonctionnels amino, hydroxyle, carboxylate, phosphate et sulfhydryle (Chávez et al., 1993). Lanza et al. (2016) lors de l'analyse de la teneur en Cd des cotylédons d'un cacao hybride du Venezuela, fermenté et sans fermentation, ont trouvé des différences, dont les valeurs étaient : cacao fermenté, 1,74 ppm et cacao sans fermentation, 2,09 ppm. Pendant la fermentation, les métaux pourraient passer du cotylédon à la coque de la fève par flux de masse. La composition chimique (teneur en macro et micronutriments) des fèves de cacao peut varier en fonction du type de fève, de la fermentation, du séchage et du traitement ultérieur (Arvelo et al., 2017).

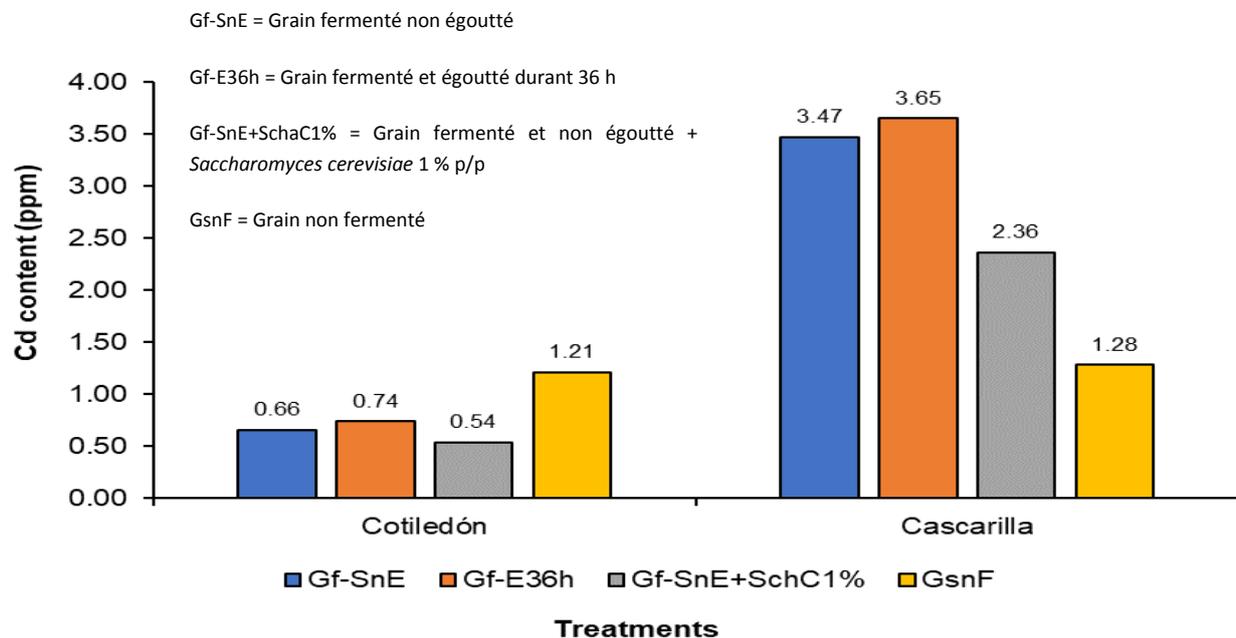
Concernant la teneur en Cd dans la coque des fèves de cacao en fonction des traitements étudiés.

Les traitements T<sub>0</sub>, T<sub>1</sub> et T<sub>2</sub>, présentent les valeurs les plus élevées de Cd dans la coque, augmentant probablement sa concentration en raison de sa migration des cotylédons de la fève de cacao, suite au processus biochimique de fermentation. Le T<sub>3</sub> (fèves non fermentées) présente les teneurs en Fe les plus élevées, probablement parce que les autres fèves ont subi des changements chimiques majeurs dus à la fermentation, sans perte de substances organiques dans la coquille. Enfin, il a été démontré que la coquille contient plus de Fe, suivi de Zn, Cu et Cd.

Ces dernières années, l'un des micro-éléments du cacao qui a pris une grande importance dans le monde entier est le Cd, qui est analysé indépendamment à la fois dans le cotylédon et dans la coque de la fève de cacao. La figure 1 montre que la teneur en cadmium est plus élevée dans la coque que dans le cotylédon de la fève de cacao. En moyenne, on a obtenu 0,79 ppm de Cd dans le cotylédon et 2,69 ppm dans la coquille, ce qui donne un rapport coquille/cotylédon égal à 3,40. Lorsque les fèves de cacao atteignent un pourcentage de fermentation supérieur à 80 % comme dans le cas de la présente étude, la teneur en cadmium des cotylédons est réduite en raison de la migration vers la testa et le milieu extérieur. Les fèves non fermentées ont des teneurs en Cd très similaires, tant dans le cotylédon (1,21 ppm) que dans la coque (1,28 ppm).

La figure 1 montre clairement que la fermentation de la fève, quelle que soit la modalité ou le traitement, diminue la teneur en Cd des cotylédons de la fève de cacao.

**Figure 1. Teneur en cadmium des cotylédons et des coques de fèves de cacao en fonction des traitements étudiés.**



#### Teneur en Cd (ppm)

Gf-SnE = Grain fermenté non égoutté

Gf-E36h = Grain fermenté égoutté pendant 36 h

Gf-SnE+SchaC1% = grain fermenté non égoutté + *Saccharomyces cerevisiae* 1 % p/p

GsnF = Grain non fermenté

#### Cotylédon

#### Cosse

#### Gf-SnE

#### Gf-E36h

#### Gf-SnE+SchaC1%

#### GsnF

#### Traitements

#### 77. PÉROU

Ardiles, M. 2012. "Prospección de cadmio y plomo en tres cultivares de cacao en suelos del valle de Kumpirushiato, Echarate" [Prospection du cadmium et du plomb dans trois cultivars de cacao dans les sols de la vallée de Kumpirushiato, Echarati], La Convención. Cuzco

Environnement d'étude : Localisation : district d'Echarati, secteurs de Kuviriari, Alto Kepashiato, Cigakiato, Puguientimari dans la vallée de Kumpirushiato, Echarati-La Convención-Cuzco. Climat pluvieux semi-chaud avec

un hiver sec, avec des précipitations annuelles de 1 211,5 mm et une température annuelle moyenne de 24,9 °C. Les pluies sont réparties en une période sèche entre les mois de mai à juillet et une période avec des pluies abondantes entre les mois de décembre à mars. Ce sont des zones d'intervention anthropique dans lesquelles se déroule une activité agricole intense, zone de vie forestière humide subtropicale, de topographie accidentée avec des pentes prédominantes dans les secteurs de Kuviriari (45 %), Alto Kepashiato (33 %), Cigakiato (42 %), Puguientimari (48 %) qui sont distribuées de manière considérable et dispersée dans toute la vallée.

Méthodologie et résultats : L'auteur a travaillé sur douze (12) échantillons de fèves de cacao (*Theobroma cacao*) : trois CCN-51 (Castro Naranjal Collection -51), trois ICS-1 (Institute College Selection -1 Collection), trois ICS -95 (Institute College Selection Collection -95) de chacun des secteurs et sur 4 échantillons de sol : un de chaque secteur extrait à 30 cm de profondeur, comme établi dans la norme mexicaine NMX-AA-132-SCFI-20 (échantillonnage du sol pour l'identification et la quantification des métaux, métalloïdes et manipulation de l'échantillon), concluant que dans les quatre secteurs à l'étude, le cadmium n'a pas été détecté dans le sol ou, à défaut, dans des proportions négligeables. Ces résultats sont inférieurs aux normes de qualité environnementale du sol décrétées dans le D.S. 002-2013-MINAG (2013). La méthode utilisée pour la détermination du cadmium est la méthode EPA 6010B "Determination of metals and Trace Elements, Wastes, Soils, Sludge, Sediments, and other Solid Wastes by Inductively Couple Plasma – Atomic Emission Spectrometry". Rev. 2. Janvier 1995. Les échantillons ont été analysés dans le laboratoire d'Envirolab Perú. Le cadmium a été détecté dans les fèves de cacao uniquement dans les cultivars ICS-95 (0,3 mg/kg) et CCN-51 (0,2 mg/kg) dans la parcelle du secteur Cigakiato.

#### 78. PÉROU

Marie Zug, K, Huamaní Yupanqui, H, Julia Susanne Frank Meyberg et Cierjacks Arne Cierjacks. 2019. Cadmium Accumulation in Peruvian Cacao (*Theobroma cacao* L.) and Opportunities for Mitigation [Accumulation de cadmium dans le cacao péruvien (*Theobroma cacao* L.) et possibilités de le réduire]. *Water, Air, & Soil Pollution*

Les cultures sont la principale source de Cd toxique pour l'homme en raison de leur absorption à partir de sols naturellement ou anthropiquement pollués. L'ingestion chronique de Cd provoque des lésions rénales, hépatiques et squelettiques ainsi qu'un risque accru de cancer. Le cacao est connu pour accumuler du Cd et peut donc être potentiellement dangereux pour la santé humaine. Par conséquent, la production de cacao sur des sols intensément pollués doit être évitée. Les produits à base de cacao provenant d'Amérique du Sud dépassent souvent les limites fixées pour le Cd, mais les facteurs d'absorption du Cd sont encore peu étudiés. Dans cette étude, nous avons mesuré les concentrations de Cd dans la poudre de cacao dégraissée provenant des graines non fermentées de 40 arbres différents dans 20 fermes de la région de Huánuco, au Pérou, et nous avons associé les niveaux de Cd au sol des fermes, à la gestion des champs et à la diversité de la végétation environnante.

La concentration de Cd moyenne constatée dans le cacao de la région étudiée, était de 2,46 mg/kg avec une plage de 0,2 à 12,56 mg/kg. La teneur maximale mesurée était un ordre de magnitude supérieur à la limite autorisée de 1,5 mg/kg, et il s'agissait de la plus forte rapportée jusqu'à maintenant dans la documentation. La teneur en Cd du sol était le facteur le plus important de la concentration de Cd dans le cacao. En outre, l'utilisation d'engrais a entraîné une concentration de Cd significativement plus élevée dans le cacao. Une plus grande biodiversité d'herbes était positivement corrélée avec les teneurs en Cd dans le cacao. L'étude montre que, outre la corrélation connue entre les conditions du sol et l'accumulation de Cd dans les graines de cacao, les modifications de la fertilisation et de la composition des plants peuvent être des mesures prometteuses pour contrer la contamination par le Cd dans les régions à forte teneur en Cd dans le sol.

La version en ligne de cet article (<https://doi.org/10.1007/s11270-019-4109-x>) contient des informations supplémentaires, accessibles pour les utilisateurs autorisés.

#### 79. PÉROU

Condori, D. 2018. PÉROU. Rapport d'étude : "Cadmio en el cultivo del cacao" [Cadmium dans les cultures de cacao]

OBJECTIFS : a) Effectuer une revue bibliographique actualisée sur les sources, les causes, les effets, le contenu et les implications de la teneur en cadmium dans les cultures de cacao et b) Décrire les propositions de diminution du cadmium ou d'assainissement dans les zones de cultures et de fèves de cacao.

La libération de Cd dans l'environnement est accrue par l'action de l'homme (combustion de combustibles fossiles, métallurgie, fabrication de piles, de pigments, incinération des déchets), par l'utilisation d'engrais à base de phosphate et de produits agrochimiques. En outre, le tabagisme a été identifié comme un facteur important d'exposition au Cd.

L'augmentation des niveaux de Cd dans les plants peut être due à divers facteurs, tels que :

## Facteurs édaphiques (sol)

- pH, l'adsorption augmente lorsque le pH diminue
- Salinité du sol, l'adsorption augmente avec la salinité
- La teneur en Cd, l'adsorption augmente sa concentration
- Les micronutriments, la carence en Zn augmente l'adsorption de Cd
- Teneur en matière organique, l'adsorption diminue avec son augmentation

## Facteurs des cultures

- Types de cultures, certains types de cacao adsorbent le Cd plus que d'autres
- Tissu végétal, feuille > amande (mucilage > testa > cotylédon) > racines
- Âge des feuilles, vieilles feuilles > jeunes feuilles

## Facteurs anthropiques

- L'utilisation excessive de pesticides qui contiennent des traces de Cd élimine les micro-organismes efficaces dans le sol.
- Utilisation excessive d'engrais phosphatés contenant des traces de Cd (0,1 – 170,00 mg/kg)
- Utilisation excessive du guano des îles pouvant contenir des traces de Cd (2,44 – 5,50 mg/kg)
- Irrigation avec des rivières contaminées, en particulier dans les zones minières ou les anciennes zones minières.

## Propositions pour la réduction de la teneur en Cd ou l'assainissement dans les cultures de cacao

L'assainissement du sol peut être l'un des nombreux outils viables pour réduire la solubilité du Cd, empêchant ainsi une absorption et une accumulation excessives du Cd dans les plantes. D'après les résultats de diverses études, une série de recommandations préliminaires sont présentées pour aider les producteurs de cacao à faire face à la contamination potentielle de la culture de cacao par le Cd.

Avant la réduction ou l'assainissement :

Analyse chimique du sol (pH, macro et micronutriments)

Évaluation de la teneur en Cd dans le sol, l'eau d'irrigation et les fèves de cacao

Stratégie dans les nouvelles plantations :

Installer les plantations dans des sols agricoles dont la teneur en Cd total est inférieure à 1,4 ppm et la teneur en Cd de l'eau d'irrigation ne doit pas dépasser 0,005 mg/L.<sup>57</sup>

Installer les plantations dans des zones éloignées des routes ou prendre des mesures afin de prévenir le contact du cacao avec les gaz émis par la combustion des véhicules. Elles doivent également se situer dans des zones éloignées des décharges ou des exploitations minières.

Stratégie dans les plantations déjà installées :

Augmenter les concentrations de Zn et de Mn dans le sol. Le sulfate de zinc a un effet positif sur la réduction de la concentration de Cd dans les fèves de cacao. L'application de sulfate de zinc doit être faite de manière équilibrée en fonction des besoins de la culture et du sol.

Appliquer des niveaux de calcaire en faibles doses (dolomite –  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ) pour augmenter graduellement le pH et incorporer du Ca et du Mg, et réduire l'absorption du Cd. On peut également appliquer de la chaux pour corriger le pH et obtenir le même résultat.

Augmenter la teneur en matière organique du sol et améliorer l'activité biologique en utilisant des engrais ou des fertilisants biologiques (compost, humus, bocashi, entre autres).

Éviter l'utilisation d'engrais phosphorés et de roches phosphoriques qui peuvent contenir des concentrations élevées de Cd, et vérifier la teneur en métaux lourds. La CE recommandée est de 30 ppm Cd/Kg maximum.

Utiliser des engrais azotés et potassiques (NPK), mais vérifier au préalable la teneur en métaux lourds.

L'utilisation de charbon activé ou de biocharbon permet d'adsorber le cadmium et de réduire sa biodisponibilité pour le plant.

Utiliser des biofertilisants à base de levures comme le produit FERTILEV<sup>®</sup>, EM<sup>®</sup> (micro-organismes efficaces) ou de champignons mycorhiziens car ces organismes ont la capacité d'adsorber le cadmium et de le bioaccumuler ou de l'immobiliser.

Dans les plantations à forte teneur en Cd dans les feuilles, éliminer les feuilles de la parcelle après la taille.

Réduire ou éviter l'utilisation de pesticides tels que les fongicides ou les insecticides, comme dans l'agriculture biologique. Les pesticides pourraient augmenter la teneur en Cd en ayant un effet négatif sur les microorganismes indigènes du sol.

Sélectionner des variétés de cacao qui n'accumulent pas de fortes concentrations de métaux lourds.

Pendant la période après récolte du cacao

L'égouttage des fèves avant la fermentation (12 à 24 heures) réduit la teneur en mucilage du cacao et par conséquent la teneur en Cd dans la fève.

L'utilisation de levures pendant la fermentation, des levures telles que *Saccharomyces cerevisiae* ou d'autres utilisées pour la production de vin ou de champagne, réduit la teneur en Cd dans la fève.

Éviter de sécher les fèves de cacao sur les routes ou de les exposer à la fumée des véhicules, ces pratiques pouvant augmenter la teneur en Cd dans la fève.

La réduction ou l'assainissement du Cd doit être abordée de manière globale, et ces recommandations visant à réduire les niveaux de Cd doivent être mises en œuvre progressivement dans les pratiques agricoles et les activités après récolte.

Il est important de mentionner que le Pérou, en tant que membre de la FAO/OMS, développe un « Code d'usages pour prévenir et réduire la contamination du cacao par le Cd », qui est en cours d'évaluation par le JECFA. Le développement d'un Code d'usages permettra de prévenir et de réduire la contamination du cacao et de ses produits dérivés par le Cd, contribuant ainsi à réduire les expositions à ce contaminant et les altérations possibles du commerce international.

### Conclusions

Le cacao péruvien est en cours de développement et de croissance, et ses principaux marchés sont l'Europe (fève de cacao) et l'Amérique du Nord (chocolat).

Dans certaines zones de production de cacao au Pérou, ainsi que dans la région, la teneur en cadmium dans les fèves de cacao est élevée (> 0,8 à 3,14 ppm) par rapport à la limite maximale (LM) décrite dans le Règlement européen 488/2014 (0,8 ppm) et à celle demandée par les importateurs.

La teneur en cadmium dans les différents types de chocolats commercialisés dans le pays semble conforme aux LM du Règlement européen 488/2014 (0,8 ppm). D'autres données sont encore nécessaires pour vérifier cette conclusion.

L'application du Règlement européen 488/2014 pourrait limiter les exportations péruviennes de fèves de cacao, générant un impact social et économique négatif sur les familles productrices de cacao et les institutions exportatrices.

La teneur élevée en Cd dans le cacao et ses dérivés est un problème réel et actuel, les solutions doivent être données à partir de chaque phase de la chaîne de valeur.

La réduction ou l'assainissement du Cd dans la chaîne du cacao doit être abordée de manière intégrée et progressive, en commençant par les pratiques agricoles, puis les opérations post-récolte.

L'établissement de LM semble avoir deux connotations. La première est liée à la sécurité, afin de réduire l'exposition du consommateur au Cd par le biais des aliments. La seconde est de nature économique pour la négociation commerciale de la matière première.

### 80. PÉROU

Rojas, R., Rodríguez, C., Ruiz, C., Portales, R., Neyra, E., Patel K., Mogrovejo J., Salazar G., Hurtado, J. 2017. Cacao Chuncho de Cuzco

La publication CACAO CHUNCHO DEL CUSCO résume les principaux résultats obtenus lors de l'exécution du projet « Du cacao au chocolat : Étude morphologique, génomique, métabolomique et sensorielle du cacao Chuncho de Cuzco pour l'assurance qualité et l'innovation de l'industrie péruvienne du chocolat » (Accord 159-PNICP-PIAP-2015), qui a été co-financé par Innovate Perú.

Ce projet avait comme entité demandeuse l'Université péruvienne Cayetano Heredia (UPCH) et comme entités associées l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD), l'APPCACAO, La Fabrica de Chocolates La Iberica, Chocomuseo et le Centro de Innovación del Cacao (CIC).

L'objectif de l'étude était de caractériser morphologiquement, génétiquement, chimiquement et sensoriellement 11 cultivars de cacao « Chunchu » de Quillabamba, province de La Convención, Cuzco.

**Remarque :** Pour ce travail, seuls les points concernant le développement proposé d'un Code d'usages pour la prévention et la réduction de la contamination des fèves de cacao par le cadmium ont été repris de la publication susmentionnée, mais en gardant toujours à l'esprit les avantages nutraceutiques et l'amélioration génétique des cultures de cacao présentés par le cacao Chunchu de la région de Cuzco.

#### **Processus de fermentation et séchage, et élaboration de la pâte de cacao**

La récolte et le bénéfice des 11 cultivars de cacao ont été réalisés avec l'appui des producteurs, en effectuant la récolte des cabosses par type de cacao et plant par plant, seules les cabosses mures ont été utilisées, en évitant de récolter les cabosses malades, trop mûres et vertes. Par la suite, les fèves de cacao ont été placées dans des sacs en tissu puis introduites dans les caisses de fermentation, un processus qui a duré entre 4 et 5 jours selon la taille des fèves. Les caisses de fermentation ont été fournies par les producteurs, situés dans des endroits abrités à Calzada et Cacaopampa afin de garantir le bon déroulement de la fermentation.

Le processus de séchage a été réalisé dans la ville de Quillabamba à l'aide de palettes en bois pendant une période de 5 jours, avec 2 à 4 heures d'exposition quotidienne au soleil. Le séchage a été développé selon les critères des Bonnes pratiques de récolte et de bénéfice du cacao adaptés au cacao Chunchu. À la fin du processus de séchage, la mise en sac a été effectuée dans des sacs de jute, avec les étiquettes respectives pour l'identification correcte des 11 échantillons de cacao Chunchu.

Les échantillons ont été soumis au processus de torréfaction à une température de 120° C pendant une période de 20 minutes. Après avoir retiré la coque et obtenu les éclats de cacao, le processus de broyage répété a été poursuivi pendant une période de 24 heures jusqu'à l'obtention de la liqueur de cacao. Pour cela, un moulin manuel et un appareil de broyage de Cocoa Town ont été utilisés.

#### **Métaux lourds**

Autres analyses de minéraux/métaux lourds : Les analyses de Cd, Al, Antimoine (Sb), As, Baryum (Ba), Béryllium (Be), Bore (B), Cérium (Ce), Strontium (Sr), Lithium (Li), Mercure (Hg), Nickel (Ni), Argent (Ag), Pb, Titane (Ti) et Vanadium (V) ont été réalisées par Laboratorios CERPER S.A. en utilisant la technique ICP-AES (EPA Method 200.7. 1994. Méthode de spectrométrie d'émission atomique à plasma à couplage inductif pour l'analyse des éléments traces dans l'eau et les déchets).

#### **Analyse génétique**

Après la caractérisation morphologique des cultivars de cacao sélectionnés, entre 2 et 6 échantillons de feuilles de chacun d'entre eux ont été prélevés ; ensuite, les feuilles ont été transportées dans des sacs ziploc® avec du gel de silice à l'unité de génomique de l'université UPCH avec les codes suivants :

<b>Cultivar</b>	<b>Code</b>	<b>Répétitions</b>
Chunchu común	Échantillon 1 (M1)	M1-1, M1-2, M1-3, M1-4, M1-5
Común	Échantillon 2 (M1)	M2-1, M2-2
Chunchu	Échantillon 3 (M1)	M3-1, M3-2, M3-3, M3-4, M3-5
Común liso	Échantillon 4 (M1)	M4-1, M4-3, M4-5, M4-7, M4-8
Común rugoso	Échantillon 5 (M1)	M5-1, M5-3, M5-4, M5-5
Común manzana	Échantillon 6 (M1)	M6-1, M6-2, M6-3, M6-4, M6-5
Cáscara de huevo	Échantillon 7 (M1)	M7-1, M7-2, M7-3, M7-4, M7-5
Señorita	Échantillon 8 (M1)	M8-2, M8-3
Achoccha	Échantillon 9 (M1)	M9-1, M9-2, M9-3, M9-4, M9-5, M9-6
Chunchu de montaña	Échantillon 10 (M1)	M10-1, M10-4, M10-5
Pamuco rugoso	Échantillon 11 (M1)	M11-1, M11-2, M11-3, M11-4

Pour l'analyse génétique utilisant la technique AFLP (polymorphisme de longueur des fragments amplifiés), le protocole de Doyle & Doyle (1990) a été suivi, avec quelques modifications :

#### **Résultats et discussion**

##### **Teneur en cadmium dans les fèves**

CULTIVAR	PRODUCTEUR	ZONE	Concentration (Cd mg/kg)
Chuncho	Ricardo Quintanilla Gamarra	Santa Ana – Cacaopampa	0,11
Comun	Ricardo Quintanilla Gamarra	Santa Ana – Cacaopampa	0,11
Señorita	Francisco Torres Baca	Echarati-Pispita	0,07
Achoccha	Francisco Torres Baca	Echarati-Pispita	0,10
Cáscara de huevo	Francisco Torres Baca	Echarati-Pispita	0,05
Común manzana	Lorenzo Bedoya Farfán	Santa Ana – San Pedro	<0,05
Común liso	Orlando Tupayachi Muñoz	Santa Ana – Cacaopampa	0,07
Común rugoso	Orlando Tupayachi Muñoz	Santa Ana – Cacaopampa	0,08
Chuncho de montaña	Francisco Torres Baca	Echarati-Pispita	0,08
Chuncho común	Demetrio Villavicencio Pereira	Echarati – Chahuares	<0,05
Pamuco rugoso	Francisco Torres Baca	Echarati-Pispita	0,09

#### Analyse génétique

Le processus d'extraction avec CTAB (bromure de cétyltriméthylammonium) a été réussi, obtenant une concentration d'ADN de l'ordre de 57.9 à 211.6 ng/μL avec un rapport A260/A280 proche de 2, obtenant ainsi une bonne qualité d'ADN pour travailler dans les réactions AFLP. La matrice de base des données d'analyse des bandes de présence et d'absence considérant un total de 21 bandes polymorphes se situe dans la fourchette de 80 à 350 pb.

En conclusion, l'utilisation de la technique AFLP a permis de générer des modèles moléculaires pour différencier génétiquement les cultivars de cacao. Les cultivars « Chuncho Común » et « Común » sont les plus éloignés génétiquement des autres cultivars. Des clusters ont pu être proposés pour les autres cultivars, tels que : « Señorita » avec « Achoccha », « Pamuco rugoso » avec « Chuncho de Montaña » et « Chuncho » avec « Común Liso ».

Étude microbiologique du processus de fermentation du cultivar « Cáscara de huevo ».

Au cours du processus de fermentation du cultivar de cacao Chuncho « Cáscara de huevo », on a observé une variation des valeurs de pH de la masse due à l'action des micro-organismes présents dans la caisse de fermentation. Le pH initial de la masse de fermentation était de 4,0, ce qui est conforme à ce qui a été publié dans d'autres articles scientifiques où des valeurs de pH comprises entre 3,5 et 4,5. sont rapportées. La variation du pH est probablement due à la consommation d'acide citrique par les levures, qui permet à son tour la croissance des bactéries lactiques (BAL). De plus, une augmentation de la température a été observée jusqu'à atteindre 42,8° C au 4ème jour de la fermentation, ceci est dû au fait que les réactions métaboliques sont fortement exothermiques chez les levures et les bactéries pendant le développement de la fermentation.

Lors de l'analyse microbiologique, une succession de microorganismes a été observée tout au long du processus de fermentation. Dès le deuxième jour, un plus grand nombre de micro-organismes était évident dans le milieu MRS (Gélose de Man, Rogosa, Sharpe), qui comprenait des lactobacilles et des levures. Par la suite, on a constaté une augmentation marquée de la croissance dans le milieu de Sabouraud, ce qui indique la présence de levures. À partir du quatrième jour, la croissance dans le milieu GYC (chloramphenicol glucose agar) a augmenté, ce qui est lié à l'augmentation des bactéries acétiques (BAA), gardant cette croissance jusqu'à la fin de la fermentation.

Isolement et caractérisation des levures

Pendant le processus de fermentation du cacao, 26 levures ont été isolées du cultivar Chuncho « cáscara de huevo », en identifiant la présence de *Saccharomyces cerevisiae*, *Kloeckera apiculata* (anamorphe ou *Hanseniaspora uvarum*) et *Candida* sp. La levure *S. cerevisiae* est la plus présente durant la fermentation ; par conséquent, elle peut être trouvée dans tout l'échantillonnage, a une croissance rapide à un pH légèrement élevé et peut tolérer des concentrations élevées d'éthanol et de température.

## 7. CONCLUSIONS

La prévention et la réduction du Cd dans les systèmes de production nécessitent une approche globale pour comprendre les facteurs du sol qui conduisent à une absorption élevée de Cd par les cultures de cacao afin de définir des stratégies pour éviter sa bioaccumulation. Les éléments disponibles ou extractibles sont ceux qui

peuvent participer à des réactions chimiques ou biologiques. Les racines des plants de cacao ne peuvent absorber des ions que si ceux-ci sont disponibles dans la solution du sol.

McLaughlin, M. et Singh B. R. en 1999 ont prévu que la prévention et la réduction du Cd dans les systèmes de production nécessiterait une approche globale pour comprendre les facteurs du sol qui conduisent à une absorption élevée de Cd par la culture du cacao afin de définir des stratégies pour éviter sa bioaccumulation. Les éléments disponibles ou extractibles sont ceux qui peuvent participer à des réactions chimiques ou biologiques. Les racines des plants de cacao ne peuvent absorber des ions que si ceux-ci sont disponibles dans la solution du sol. En outre, la disponibilité du Cd du sol pour les cultures alimentaires dépend des processus physiques, chimiques et biologiques qui contrôlent la solubilité et la forme du Cd dans la solution du sol, en particulier dans la rhizosphère. Les facteurs non biotiques importants comprennent le pH du sol, la teneur en argile, les carbonates, les oxydes de fer et de manganèse, le potentiel d'oxydo-réduction, le type et la teneur en matière organique, les ligands complexants et la teneur en eau, ainsi que les pratiques de gestion du sol, notamment la rotation des cultures et les amendements du sol tels que les engrais phosphatés, les fumiers, les boues d'épuration et la chaux agricole. Les facteurs biotiques importants connus comprennent les espèces végétales, les mécanismes d'absorption du Cd par les plantes, les cultivars, l'activité des racines, les modèles d'enracinement et les micro-organismes associés aux racines de la rhizosphère (tels que les champignons mycorhiziens). Tous ces facteurs interagissent pour influencer la disponibilité du Cd pour les plantes, des recherches supplémentaires sont nécessaires sur les mécanismes d'absorption par les racines, la translocation, la retranslocation et le dépôt du Cd dans les plantes. Enfin, les facteurs qui contrôlent la biodisponibilité du Cd dans les aliments végétaux et les interactions entre les différents constituants alimentaires et l'état nutritionnel individuel sur la biodisponibilité du Cd dans ces aliments doivent être étudiés plus en détail avant de pouvoir comprendre pleinement l'importance des niveaux actuels de Cd dans les aliments végétaux pour la santé et le bien-être de l'homme.

#### 8. OBSERVATIONS GÉNÉRALES SUR L'AVANT-PROJET DE CODE D'USAGES POUR LA PRÉVENTION ET LA RÉDUCTION DE LA CONTAMINATION DES FÈVES DE CACAO PAR LE CADMIUM

Le Canada soutient l'élaboration de ce code d'usages étant donné que les limites maximales (LM) du Codex pour certains produits à base de chocolat ont déjà été établies ou sont à l'étude par le CCCF.

Nous considérons que l'adoption d'un code d'usages pour la prévention et la réduction de la contamination des fèves de cacao par le cadmium (Cd) est un facteur clé pour la production de cacao en Colombie, à condition que ces usages soient applicables et viables sur le plan économique pour les petits, moyens et grands producteurs de cacao. La participation de toutes les institutions impliquées dans la chaîne de valeur du cacao est également essentielle pour que ce code d'usages soit effectivement fonctionnel et réellement mis en œuvre.

L'Iraq est d'accord avec l'avant-projet de code d'usages sans aucune observation.

La Thaïlande tient à remercier le Pérou, le Ghana et l'Équateur d'avoir préparé un avant-projet de Code d'usages pour la prévention et la réduction de la contamination du cacao par le cadmium.

L'Ouganda apprécie le travail accompli, il sera utile à l'industrie.

Les États-Unis soutiennent les progrès réalisés dans l'élaboration du Code d'usages, qui contribuera de manière importante à réduire les niveaux de cadmium dans les fèves de cacao, ainsi que dans le soutien du commerce international des fèves de cacao.

L'Association européenne pour le cacao (ECA) tient à remercier les présidents et les membres du Groupe de travail électronique sur l'élaboration d'un avant-projet de Code d'usages pour la prévention et la réduction de la contamination des fèves de cacao par le cadmium pour leur travail.

L'Association internationale de la confiserie, tient à remercier le GTE, dirigé par le Pérou et co-présidé par l'Équateur et le Ghana, pour cet avant-projet de code d'usages. Nous estimons qu'il est important d'étudier de manière approfondie les possibilités d'atténuation de ce problème. Nous nous faisons l'écho de notre ferme soutien en faveur de normes et de mesures d'orientation mondiales, raisonnablement réalisables, s'appuyant sur des données scientifiques objectives et sur une évaluation mondiale des risques, et permettant d'éviter tout gaspillage inutile dans l'approvisionnement alimentaire.

#### 9. RECOMMANDATION

Les autorités locales, nationales et internationales compétentes et les ONG qui donnent des conseils ruraux aux producteurs de cacao (petits, moyens ou grands) doivent être informées de l'application et de la mise en œuvre du présent Code d'usages pour la prévention et la réduction de la contamination des fèves de cacao par le cadmium.

**10. REMERCIEMENTS**

Le président du GTE (SENASA Pérou), Ing. Javier Aguilar Zapata, et les co-présidents du Ghana et de l'Équateur souhaitent remercier chaleureusement la Food and Drug Administration (FDA) des États-Unis, l'Association européenne pour le cacao, le ministère de l'Économie, de l'Industrie et du Commerce du Costa Rica, l'Agence de réglementation sanitaire du Brésil, l'Agence de réglementation et de contrôle phytosanitaire et zoosanitaire de l'Équateur, la Division de la sécurité alimentaire du Ministère de la santé de la Malaisie, et le Ministère du développement agricole et de l'irrigation du Pérou pour leurs observations précieuses pour l'élaboration de l'Avant-projet du Code d'usages pour la prévention et la réduction de la contamination des fèves de cacao par le cadmium ; ainsi qu'au Secrétariat du Codex pour avoir mis à disposition les observations reçues par le biais du Système d'observations en ligne du Codex (OCS) soumises par le Canada, le Chili, la Colombie, le Costa Rica, l'Union européenne, l'Iraq, le Kenya, la République arabe syrienne, la Thaïlande, l'Ouganda, les États-Unis d'Amérique, la Collagen Casings Trade Association (CCTA), l'Association européenne pour le cacao (ECA) et l'Association internationale de la confiserie (ICA).

## RÉFÉRENCES

- Alloway, B.J. 1995. Heavy Metals in Soils. Blackie Academic and Professional, London, UK.
- Ardiles, M. 2012. "Prospección de cadmio y plomo en tres cultivares de cacao en suelos del valle de Kumpirushiato, Echarate" La Convención. Cusco. Thèse pour le diplôme d'ingénieur agronome tropical. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Facultad de Ciencias Agrarias Tropicales. Études professionnelles : Agronomie tropicale.
- Arguello D, Chavez E, Laurysen F, Vanderschueren R, Smolders E, Montalvo D. 2019. Soil properties and agronomic factors affecting cadmium concentrations in cacao beans: A nationwide survey in Ecuador. *Sci Total Environ* 649: 120-127. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.292.
- Baker, D.E., M.C. Amacher, et R.M. Leach. 1979. Sewage sludge as a source of Cd in Soil-Plant-Animal Systems. *Environmental Health Perspectives* Vol. 28 45-49.
- Barraza, F., Moore, R., Rehkemper, M., Schreck, E., Lefeuvre, G., Kreissig, K., Coles, B., et Maurice, L. 2019. Cadmium isotope fractionation in the soil –cacao systems of Ecuador: a pilot field study. *The Royal Society of Chemistry. Adv.* 2019. 9. 34011–34022.
- Bravo, D., S. Pardo Diaz, J. Benavides Erazo, G. Rengifo Estrada, O. Braissant, C. Leon Moreno. 2018. Cadmium and cadmium-tolerant soil bacteria in cacao crops from northeastern Colombia. *Appl. Microbio.* 124:1175-1194.
- Brown, S., R.L. Chaney et J.S. Angle. 1997. Subsurface liming and metal movement in soils amended with lime-stabilized biosolids. *J. Environ. Qual.* 26:724-732.
- CAOBISCO/ECA/FCC. 2015. Cocoa Beans: Chocolate and Cocoa Industry Quality Requirements. Septembre 2015 (End, M.J et Dand, R., Editors).
- CAC/GL 50-2004. General Guidelines on Sampling
- CAC/GL 69-2008. Guideline for the Validation of Food Safety Control Measures CAC/RCP1. Principes généraux d'hygiène alimentaire
- CAC/RCP 49-2001. Code d'usages concernant les mesures prises à la source pour réduire la contamination chimique des aliments.
- CAC/RCP 72-2013 Code d'usages pour la prévention et la réduction de la contamination du cacao par l'ochratoxine A.
- Cargua, J. 2010. Determinación de las formas de Cu, Cd, Ni, Pb y Zn y su Biodisponibilidad en Suelos Agrícolas del Litoral Ecuatoriano. Thèse de diplôme d'ingénieur agronome. Universidad Tecnológica Equinoccial. Santo Domingo – Équateur. 1-109 págs.
- Cargua, J., Mite, F., Carrillo, M. et Durango W. 2010. Determinación de las formas de Cu, Cd, Ni, Pb, y Zn y su biodisponibilidad en suelos agrícolas del litoral ecuatoriano. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Santo Domingo, 17-19 novembre 2010.
- Carrillo, M., Alves R., Matos A., F. Fontes, M. 2010. Efeito de diferentes condicionadores na mobilidade de cádmio em dois latossolos brasileiros. XXXIII Congresso Brasileiro de Ciencia do Solo. Minas Gerais. 31 julho -5 agosto 2010.
- CCME 1999. Canadian Council Minister Environmental. Recommended soil quality guidelines, March 1997, 1999. <http://www.ccme.ca/ccme/index.html>
- CODEX STAN 228/2001. Méthodes d'analyse générales pour les contaminants.
- Comité du Codex sur l'étiquetage des denrées alimentaires (GL 32-1999) : Directives concernant la production, la transformation, l'étiquetage et la commercialisation des aliments issus de l'agriculture biologique.
- Condori, D. 2018. M.Sc. Rapport d'étude : "Cadmio en el cultivo del cacao". Fábrica de Chocolates La Ibérica. Octobre 2018. Pérou
- Chaney, R.L et Baklanov, 2017. Phytoremediation and Phytomining: Status and Promise. *Adv. Botan. Res.* 83:189-221.
- Chaney, R.L., C.E. Green, H. Ajwa et R. Smith. 2009. Zinc fertilization plus liming to reduce cadmium uptake by Romaine lettuce on Cd-mineralized Lockwood soil. *Proc. Int. Plant Nutrition Colloquium XVI* (Aug. 25-28, 2009, Sacramento, CA): Paper 1252. (<http://repositories.cdlib.org/ipnc/xvi/1252>)

- Chicón, L. 2006. Especiación de metales pesados en lodos de aguas residuales de origen urbano y aplicación de lodos digeridos como mejoradores de suelos. Programme de doctorat de recherche en ingénierie environnementale à l'Université de Malaga.
- Chupillon-Cubas J, Arévalo-Hernández, C; Arévalo-Gardini, E; Farfán-Pinedo, A; Baligar V3. 2017. Acumulación de cadmio en seis genotipos de cacao utilizados como patrón. International Symposium on Cocoa Research (ISCR), Lima, Pérou, 13-17 novembre 2017
- Dávila, C. 2018a. Paquete tecnológico para disminuir el contenido de cadmio en los granos de cacao. Área de Proyectos. Cooperativa Agroindustrial Cacao Alto Huallaga. Castillo Grande, Tingo María, Perú. Octubre 2018.
- Dávila, C. 2018b. Cadmio en el cultivo de Cacao. Diagnóstico y Desarrollo de Tecnologías para enfrentar esta amenaza. Área de Proyectos. Cooperativa Agroindustrial Cacao Alto Huallaga. Castillo Grande, Tingo María, Perú.
- Dávila, C. 2018c. "Efecto del compost y la gallinaza en las propiedades fisicoquímicas del suelo y en contenido de cadmio de los granos secos del cacao (*Theobroma cacao* L), CV. CCN-51". Thèse pour le diplôme d'ingénieur agronome. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Facultad de Agronomía. Departamento Académico de Ciencias Agrarias. Tingo María, Huánuco. Pérou.
- EFSA. 2009. Avis du groupe scientifique sur les contaminants de la chaîne alimentaire concernant le cadmium dans l'alimentation, donné à la demande de la Commission européenne. EFSA Journal 980, 1 – 139.
- Engbersen, N, Gramlich, A, Lopez, M., Schwarz, G, Hattendor, B, Gutierrez. O., Schulin, R. 2019. Cadmium accumulation and allocation in different cacao cultivars. *Science of the Total Environment*. Volume 678, 15 August 2019, Pages 660-670. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.001>
- Falcón, G y Dávila C. 2019. « Efecto de la fermentación en el contenido de cadmio y polifenoles totales de los granos de cacao (*Theobroma cacao* L.) Clon CCN-51 ». Thèse : Maestría en Ciencias Agrícolas [Master en sciences agricoles]. Spécialité cultures tropicales. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Escuela de posgrado. Tingo María. Huánuco. Pérou.
- García, J. et García L. 2018. Selección genética con reducida acumulación de cadmio. Thèse pour le diplôme d'ingénieur agronome. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María. Huánuco.
- Garrett, R.G., A.R.D. Porter, P.A. Hunt et G.C. Lalor. 2008. The presence of anomalous trace element levels in present day Jamaican soils and the geochemistry of Late-Miocene or Pliocene phosphorites. *Appl. Geochem.* 23:822-834.
- Gramlich, A., Tandy, S., Gauggel, C., Lopez. M., Perla, D., Gonzalez, V., Schulin, R. 2018. Soil cadmium uptake by cocoa in Honduras. *Science of the Total Environment*, Volume 612, pages 370-378.
- Gramlich, A., Tandy, S., Andres, C., Chincheros Paniagua, J., Armengot. L., Schneider. M, Schulin, R. 2017. « Cadmium uptake by cocoa trees in agroforestry and monoculture systems under conventional and organic management ». *Science of the Total Environment*, Volume 580:677-686.
- Guo, G., Zhou, Q., and Ma, L. Q "Availability and assessment of fixing additives for the in-situ remediation of heavy metal contaminated soils: a review," *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 116, no. 1-3, pp. 513-528, 2006
- Gutiérrez E y León C. 2017. Investigación en Cadmio en Colombia: Cadena de Cacao. CORPOICA, FEDECACAO, MINAGRICULTURA. Atelier scientifique international sur les métaux lourds dans le cacao, Lima – 17-21 juillet 2017, organisé par le ministère de l'Agriculture et de l'Irrigation du Pérou et l'Organisation internationale du cacao (ICCO).
- Hazelton PA, Murphy BW 2007 *Interpreting Soil Test Results: What Do All the Numbers Mean?* CSIRO Publishing: Melbourne.
- Inga Valenzuela Jubet Yemerson 2017. Estudio de los tiempos de drenaje, fermentación y remoción del cacao criollo. Thèse pour l'obtention du titre d'ingénieur en industrie alimentaire. National Agrarian University of La Selva. Tingo María. Huanuco.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2017. Guía de manejo fitosanitario y de inocuidad en el cacaotal. Erika Soto, Patricia Mendoza, Carlos Leyva, y Juan Guerrero. – Lima, Pérou. IICA. 2017. 24 p.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA 2017b. Manual Técnico del Cultivo de Cacao. Buenas Prácticas para América Latina. Miguel Ángel Arvelo Sánchez, Diego González León, Steven Maroto Arce, Tanya Delgado López y Paola Montoya López. – San José, C.R.: IICA, 2017. 165 p.

- International Programme on Chemical Safety (IPCS). 2010. Environmental health criteria. EHC 135: Cadmium – environmental aspects.
- Jebara, S.H., Souhir Abdelkrim Ayed, Manel Chiboub, Imen Challougui Fatnassi, Omar Saadani, Ghassen Abid, Moez Jebara. 2019. Phytoremediation of Cadmium-Contaminated Soils by Using Legumes Inoculated by Efficient and Cadmium-Resistant Plant Growth-Promoting Bacteria in Cadmium Toxicity and Tolerance in Plants from Physiology to Remediation. Academic Press. Chapter 19, pages 479-493.
- John, D. et Leventhal, S. 1995. Bioavailability of metals. Preliminary compilation of Descriptive Geoenvironmental Mineral deposit Models. Edward A. du Bray, éditeur. U.S. Geological Survey Open-File Book 95-831. Pubs.usgs.gov/of/1995/ofr-95-0831
- KABATA-PENDIAS, A. et PENDIAS, H. 2001. Trace elements in soils and plants. 3<sup>e</sup> éd. : Florida. CRC Press, 413 p.
- Lewis, C., A.M. Lennon, G. Eudoxie et P. Umaharan. 2018. Genetic variation in bioaccumulation and partitioning of cadmium in *Theobroma cacao* L. Sci. of the Total Environ. 640-641:696-703. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.365>.
- Leyva, C. 2019. Spécialiste de la sécurité agroalimentaire. SENASA-PERU. Field trips to the Cusco region in Peru as cocoa beans consultant. [Voyages d'étude dans la région de Cuzco au Pérou en tant que consultant en fèves de cacao.]
- Liu, J. et N.V. Hue. 2001. Amending subsoil acidity by surface applications of gypsum, lime, and composts. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 32: 2117–2132.
- Marie Zug, K, Huamaní Yupanqui Hugo, Julia Susanne Frank Meyberg et Cierjacks Arne Cierjacks. 2019. Water, Air, & Soil Pollution. Cadmium Accumulation in Peruvian Cacao (*Theobroma cacao* L.) and Opportunities for Mitigation. An International Journal of Environmental Pollution. March 2019, 230:72.
- McLaughlin MJ, Palmer LT, Tiller KG, Beech TA, Smart MK, 1994. Increased soil salinity causes elevated Cd concentrations in field-grown potato tubers. J Environ Qual 23:1013-1018.
- McLaughlin, M. et Singh, B.R. 1999. Cadmium in Soils and Plants. Developments in Plant and Soil Sciences. Editors. Springer Science+Business Media, B.V. 1st Edition 1999
- McLaughlin Mike. 2016. Heavy metals in agriculture with a focus on Cd. Ecuador Soil Congress. CSIRO Land and Water Fertilizer Technology Research Centre, Waite Research Institute, University of Adelaide.
- Micó Llopis, C. (2005). Estudios de metales pesados en suelos agrícolas con cultivos hortícolas de la provincia de Alicante. Thèse de doctorat. Universitat de Valencia.
- MINAGRI – IICA. 2018. Pérou. Foro “Factores Asociados a la Bioacumulación de Cadmio en Cacao y sus Estrategias de Mitigación”. Ministerio de Agricultura y Riego e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Lima, Pérou – 22 et 23 novembre 2018.
- Ministerio del Ambiente Peru. 2017. Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo. Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM
- Ministerio del Ambiente. Pérou. 2008. Estándares Nacionales de calidad para agua. D.S. N°002-08-MINAM
- O’Dowd Colin D et de Leeuw Gerrit. 2007 Marine aerosol production: a review of the current knowledge. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. <http://doi.org/10.1098/rsta.2007.2043>
- Peris Mendoza, M. 2006. Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de Castellón. Thèse de doctorat, Universitat de Valencia Servei de Publicacions
- Ramtahal Gideon, Pathmanathan Umaharan, Anand Hanuman, Carisa Davis et Leon Ali 2019. The effectiveness of soil amendments, biochar and lime, in mitigating cadmium bioaccumulation in *Theobroma cacao* L. Science of the Total Environment Volume 693, 25 November 2019, 133563. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.369>
- Ramtahal Gideon, Chang Yen Ivan, Alisha Hamid, Isaac Bekele, Frances Bekele, Kamaldeo Maharaj et Lisa Harrynanan (2018). The Effect of Liming on the Availability of Cadmium in Soils and Its Uptake in Cacao (*Theobroma cacao* L.) In Trinidad & Tobago. Communications in Soil Science and Plant Analysis, DOI: 10.1080/00103624.2018.1510955
- Code d’usages international recommandé. Principes généraux d’hygiène alimentaire (CAC/RCP 1- 1969), Annexe HACCP, toutefois modifiés pour être appliqués à toutes les mesures de contrôle, qu’un système HACCP soit employé ou non.

- Resolución Ministerial. Ministerio de Agricultura y Riego. Pérou. 2018. R. M. N° 0451-2018-MINAGRI du 15 novembre 2018 approuvant "Lineamientos de muestreo para la determinación de niveles de cadmio en suelos, hojas granos y productos derivados de cacao". Publiée sur le portail institutionnel du ministère de l'Agriculture et de l'Irrigation. <http://minagri.gob.pe/portal/resoluciones-ministeriales/rm-2018?start=65>
- Revoredo A. et J. Hurtado. 2018. Efecto del tratamiento con 3 cepas de streptomycetos en la acumulación de cadmio en plantas de Theobroma cacao. Proceedings of the International Symposium on Cocoa Research 2017. Organisation internationale pour le cacao, ICCO. Extrait de : <https://www.icco.org/about-us/icconews/388-proceedings-of-the-international-symposium-on-cocoa-research-2017.html>
- Rodríguez Albarracín Heidy Soledad, Aquiles Enrique Darghan Contreras, Martha Cecilia Henao. 2019 Spatial regression modeling of soils with high cadmium content in a cocoa producing area of Central Colombia. Geoderma Regional Volume 16, March 2019. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2019.e00214>
- Rojas, R., Rodríguez, C., Ruiz, C., Portales, R., Neyra, E., Patel K., Mogrovejo J., Salazar G., Hurtado, Jasmín. 2017. Cacao Chuncho del Cusco. Universidad Peruana Cayetano Heredia, 2017. 1a Ed. diciembre 2017. Lima, Pérou
- Rueda, G., Rodríguez, J. y Madriñán, R. 2011. Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: Perspectivas para Colombia. Acta Agronómica, Vol. 60, Núm. 3 (2011).
- Ruth Vanderschueren, Vincent De Mesmaeker, Sandra Mounicou, Isaure Marie-Pierre, Emmanuel Doelsch, et al., 2020. The impact of fermentation on the distribution of Cd in cacao beans. Food Research International, pp. 108743. Doi:10.1016/j.foodres.2019.108743. cirad -02334046v2
- Sarabia, R. 2002. Toxicidad y acumulación de Cadmio en poblaciones de diferentes especies de artemia. Facultad de Ciencias Biológicas. Thèse de doctorat. Universidad de Valencia, Burjassot Valencia, págs. 1 – 125
- Schneider, L. 2016. Effects of liming on cadmium availability in soils and uptake by cocoa. Thèse de Master. ETH Zürich. École polytechnique fédérale de Zurich Zurich. Department of Environmental Systems Science (D-USYS). Institute of Terrestrial Ecosystems (ITES). Soil Protection Group.
- SENESCYT 2011. Secretaria de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación. Informe Técnico Final del Proyecto – PIC-12-INIAP-018: "Recuperación de suelos contaminados por la presencia de cadmio en las áreas más contaminadas de las provincias de Manabi, Santa Elena y El Oro".
- SMIARC *Technoguide 2014*. Cacao Production *Brochure* 1. Mai 2014. XI-Southern Mindanao Integrated Agricultural Research Center. Department of Agriculture RFU.
- Smolders E, Lambregts RM, McLaughlin MJ, Tiller KG, 1998. Effect of soil solution chloride on Cd availability to Swiss chard. J Environ Qual 27: 426–431.
- Smolders, E. 2001. Cadmium Uptake by Plants. International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health, Vol. 14, No. 2, 177–183, 2001
- Smolders, E. 2017. Scientific aspects underlying the regulatory framework in the area of fertilisers – state of play and future reforms. IP/A/IMCO/2016-19 – PE 595.354. Union européenne
- Sotelo, Verlinda 2012. Effect of mucilage draining time on fermentation, physical and organoleptic quality of cocoa clone CCN51. Thèse pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Facultad de Agronomía. Departamento Académico de Ciencias Agrarias Tingo Maria. Huanuco. Pérou
- Tan, K.H., J.H. Edwards, et O.L. Bennett. 1985. Effect of sewage sludge on mobilization of surface-applied calcium in a Greenville soil. Soil Sci. 139:262-269.
- Tang, J., Zhang, L., Zhang, J., Ren, L., Zhong, Y., Zheng, Y., Luo, L., Yang, Y., Huang, H., et Chen, A. 2020. Physicochemical features, metal availability and enzyme activity in heavy metal-polluted soil remediated by biochar and compost. Science of the Total Environment. Volume 701, 20 January 2020, 134751. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134751>.
- Tester, C.F. 1990. Organic amendment effects on physical and chemical properties of a sandy soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 54:827-831.
- Torres, O. 2016. Efecto de diferentes niveles de nitrógeno en el cultivo de cacao. Projet préliminaire de pratique professionnelle encadrée, présenté à l'Université nationale d'agriculture comme condition préalable à l'obtention du titre d'ingénieur agronome. Catacamas. Olancho. Honduras
- Trakal, L., M. Neuberg, P. Tlustos, J. Száková, V. Tejnecký, et O. Drábek. 2011. Dolomite limestone application as a chemical immobilization of metal-contaminated soil. Plant, Soil and Environment 57:173-179.

Vanderschueren Ruth, Mesmaeker Vincent De, Mounicou Sandra, Marie-Pierre Isaure, Doelsch Emmanuel, 2020. The impact of fermentation on the distribution of cadmium in cacao beans. *Food Research International* 127, pp. 108743. Doi 10.1016/j.foodres.2019.108743. cirad – 02334046v2

Vliet, van J.A. et Giller, K.E. 2017. Mineral Nutrition of Cocoa: A Review. *Advances in Agronomy*, Vol.141, p. 185-270. ISSN 0065-213.

**APPENDICE III****LISTE DES PARTICIPANTS****Président**

Ing. Javier Neptali Aguilar Zapata  
 Spécialiste en sécurité agroalimentaire – Sous-direction de la sécurité agroalimentaire  
 Direction des intrants agricoles et de la sécurité agroalimentaire  
 Service national de santé agraire – SENASA Pérou  
 Ministère du développement agraire et de l'irrigation

**Co-présidents**

Équateur et Ghana

**Belgique**

Lucia Hortelano  
 ASSOCIATION EUROPÉENNE POUR LE CACAO aisbl

**Brésil**

Ligia Lindner Schreiner  
 ANVISA – Agence brésilienne de réglementation  
 de la santé

**Costa Rica**

Amanda Lasso Cruz  
 Secrétariat du Codex  
 Ministère de l'économie, de l'industrie et du  
 commerce

**Cuba**

Roberto Dair García de la Rosa  
 Ministère de la santé publique

**Équateur**

Ana Gabriela Escobar  
 AGROCALIDAD

**Union européenne**

Mme Veerle VANHEUSDEN, Commission  
 européenne,  
 UE  
  
 Maria GIAPRAKIS  
 Point de contact du Codex de l'Union européenne  
 Commission européenne  
 DG Santé et sécurité alimentaire  
 Unité D2 – Relations internationales multilatérales

**Malaisie**

Rabia' Atuladabiah Hashim  
 Ministère de la santé de la Malaisie. Food Safety  
 and Quality Division

**Nicaragua**

Miriam Canda Toledo  
 Ministère du développement, de l'industrie et du  
 commerce

**Pérou**

Carlos Leyva Fernández  
 Consultant sur le cadmium dans les fèves de  
 cacao.

Juan Carlos Huiza Trujillo  
 Point de contact du Codex  
 DIGESA (Direction générale de la santé  
 environnementale) – Ministère de la santé

Carmen Rosa Chávez Hurtado  
 Spécialiste Direction générale de l'agriculture  
 Ministère de l'Agriculture et de l'Irrigation

Juan Guerrero Barrantes  
 Maître de conférences  
 Spécialiste des sols et de l'environnement  
 Université agraire nationale La Molina

Cesar Dávila Zamora  
 Chercheur en métaux lourds dans les cultures  
 tropicales  
 Cacao Alto Huallaga Agroindustrial  
 Cooperative.Tingo Maria. Huanuco.

Braulio La Torre Martínez  
 Maître de conférences académique  
 Département des sols  
 Université nationale agraire La Molina

**Suisse**

Mme Lucia Klauser  
 Responsable scientifique  
 Office fédéral de la sécurité alimentaire et des  
 affaires vétérinaires OSAV

Martin Müller  
Swiss Point de Contact du Codex  
Département fédéral de l'intérieur DFI  
Office fédéral de la sécurité alimentaire et des  
affaires vétérinaires OSAV  
Affaires internationales

**États-Unis d'Amérique**

Henry Kim  
FDA

Lauren Posnick Robin  
FDA

Eileen Abt  
Expert  
FDA

Mme Debra L. Miller  
Association internationale de la confiserie

**Association européenne pour le cacao**

Julia Manetsberger  
Observateur  
Association européenne pour le cacao