

BLÉ DUR

FREINER L'ACCUMULATION de cadmium dans les grains



Les sols agricoles ont des teneurs totales en cadmium variables, de quelques dizaines de microgrammes jusqu'à quelques milligrammes par kilogramme de sol.

© M. GONNEC

Des travaux menés par l'INRA et ARVALIS – Institut du végétal tentent de mettre en lumière les mécanismes impliqués dans le transfert du cadmium du sol jusqu'aux grains de blé dur. Ces avancées devraient aboutir à l'élaboration d'un modèle de prédiction du risque contre ce contaminant et de stratégies de réduction des contaminations à moyen terme.

Dès 2009, ARVALIS – Institut du végétal a engagé des travaux de recherche pour anticiper une éventuelle modification de la réglementation sur les limites maximales de cadmium autorisées sur céréales. L'analyse des enquêtes menées par l'institut et FranceAgriMer sur des échantillons de diverses céréales a très vite conduit à focaliser la problématique sur le blé dur. Cette espèce tendrait à accumuler davantage le cadmium que les autres céréales mais avec une variabilité importante (*figure 1*).

Parallèlement, un projet de recherche baptisé Cadur mené conjointement par ARVALIS – Institut du végétal et l'INRA de Bordeaux s'est mis en place. Il s'intéresse aux différents mécanismes qui régissent le prélèvement et la répartition du cadmium chez le blé dur. Ce projet a pour ambition de développer un modèle ca-

pable de prédire la concentration de cet élément dans les grains en fonction des caractéristiques du sol et des pratiques culturales.

« **Plus la teneur en matière organique et le pH du sol sont élevés,** moins le cadmium a tendance à passer en solution. »

Les premiers résultats permettent aujourd'hui de mieux comprendre la phytodisponibilité du cadmium dans le sol, son prélèvement par la plante et son transfert des racines vers le grain.

En savoir plus

Retrouvez cet article sur www.perspectives-agricoles.com avec la comparaison des teneurs de cadmium dans les grains par rapport à celle observée dans les sols et l'effet du site de culture et de la variété sur la présence de cadmium dans les grains.

L'absorption racinaire limitée

La majorité du cadmium présent dans les grains de céréales provient du sol. Cependant, de nombreuses études ont montré qu'il n'est pas possible de prédire la concentration en cadmium dans les végétaux à partir de la seule concentration en métal dans le sol.

Cet élément est présent dans le sol dans différentes phases solides : inclus en impuretés dans les fragments de roches et les minéraux constitutifs du sol, fixé sur le complexe argilo-humique, etc. Or, le cadmium est prélevé par les racines dans la solution du sol, sous une forme ionique. Pour qu'il soit « phyto-disponible » (absorbable par les racines), il faut donc qu'il passe d'abord dans la solution du sol (figure 2). Suivant sa localisation initiale dans la phase solide et en fonction de divers facteurs physico-chimiques du sol, ce passage sera plus ou moins important. Ainsi, plus la teneur en matière organique et le pH du sol sont élevés, plus la rétention du cadmium par la phase solide est forte et moins il aura tendance à passer en solution.

Mais une fois dans la solution, la forme ionique absorbée par les racines dépend en outre de sa complexation avec la matière organique soluble. Pour une même teneur totale, différents sols peuvent donc présenter des phytodisponibilités très variables.

Une séquestration efficace dans les racines

Il est admis que la grande majorité de l'absorption du cadmium se fait par le système racinaire via les transporteurs du zinc et du calcium.

Une fois dans la plante, l'exportation du cadmium vers les parties aériennes est limitée en raison de sa séquestration dans les cellules racinaires (figure 2) : les plantes isolent le cadmium dans un compartiment spécifique appelé vacuole afin qu'il n'interfère pas avec les fonctions vitales de la cellule. Cette séquestration met en œuvre des molécules telles que les phytochélatines qui inactivent le cadmium en se complexant avec lui. Une partie du cadmium est malgré tout transférée aux parties aériennes en raison d'un manque de spécificité des transporteurs impliqués dans le chargement du xylème où circule la sève brute.

Une fois dans la sève brute, le cadmium gagne les feuilles où il est à nouveau stocké dans les vacuoles et, éventuellement, dans des excroissances épidermiques appelées trichomes (type « poils »). Au stade reproducteur, lorsque les réserves de la plante sont mobilisées pour l'élaboration des fruits et des graines, une partie du cadmium migre également vers ces organes, via la sève élaborée c'est-à-dire le phloème. Un transfert direct de cadmium du xylème vers le phloème aurait également lieu pendant le remplissage du grain.

TENEUR : le blé dur accumule plus de cadmium dans le grain que les autres céréales

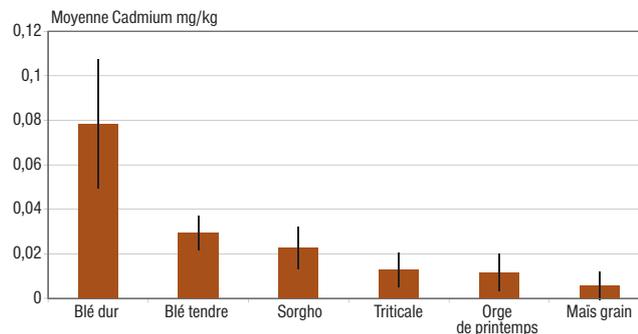
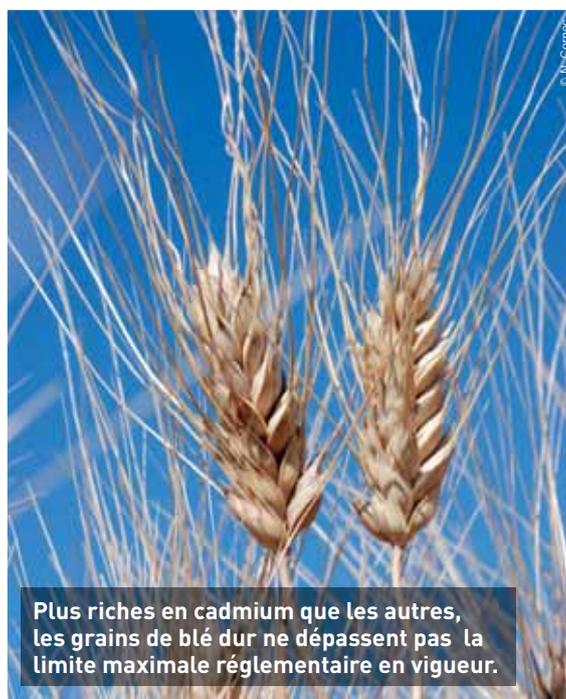


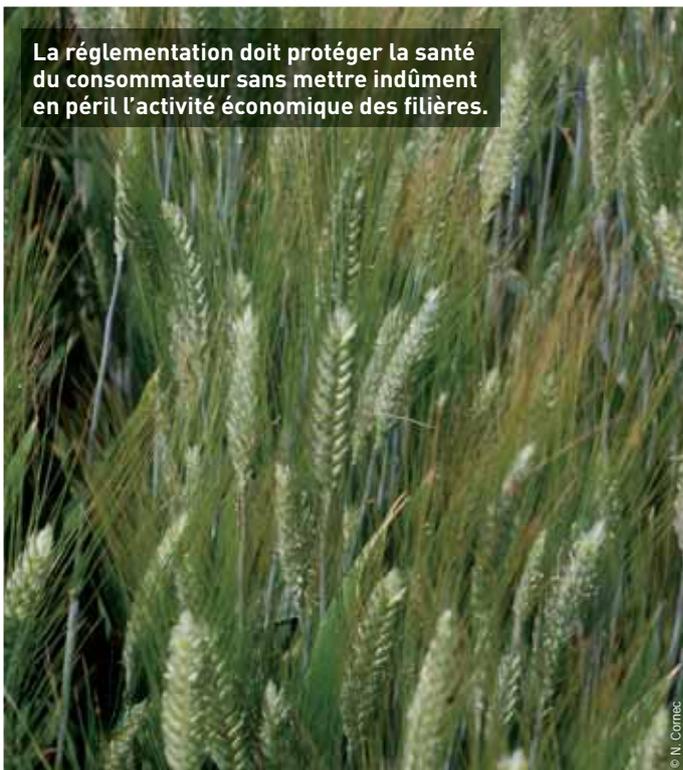
Figure 1 : Teneur en cadmium moyen (mg/kg) selon la céréale analysée (enquêtes variétales au champ FranceAgriMer – ARVALIS, 2009).



Le sol : un système accumulateur de cadmium

Les sources d'apports de cadmium au sol sont diverses. Les engrais phosphatés et les produits résiduels organiques (déjections animales, boues et composts) sont les deux sources principales, respectivement 54 % et 30 % des apports totaux sur parcelles agricoles. Les retombées atmosphériques, naturelles et anthropiques, représenteraient 14 % de ces apports.

Seuls quelques pourcents du flux annuel de cadmium à la surface du sol sont lessivés vers les horizons profonds ou la nappe. Le sol accumule donc les métaux en général et le cadmium en particulier.



« La concentration en cadmium est généralement plus élevée dans les racines que dans les feuilles et les tiges. »

En raison des mécanismes de séquestration, la concentration en cadmium est généralement plus élevée dans les racines que dans les feuilles et les tiges, elles-mêmes plus riches que les fruits et les graines. Les légumes feuilles sont donc souvent plus riches en cadmium que les légumes fruits. Dans le grain, la répartition du cadmium n'est pas non plus homogène. Il

Une toxicité difficile à déceler sur les plantes

Le cadmium n'a pas de fonction reconnue vitale pour la plante. Au contraire, il lui est toxique à faible dose car il altère le fonctionnement des enzymes essentielles impliquées par exemple dans la synthèse de la chlorophylle et l'assimilation de l'azote. Cette toxicité se traduit par une réduction de croissance racinaire et aérienne, un épaissement des racines et par des chloroses et nécroses sur les feuilles.

La plupart des plantes ont toutefois une tolérance basale au cadmium qui leur permet de l'accumuler à des concentrations potentiellement dangereuses pour l'alimentation humaine et animale sans montrer de symptôme évident de toxicité.

s'accumule préférentiellement avec les protéines, à savoir dans l'embryon et la couche à aleurone située sous le tégument. Les concentrations de cadmium dans l'endosperme (le tissu contenant l'amidon) sont donc souvent plus faibles.

Réduire la contamination en cadmium des grains ?

Dans le contexte actuel de durcissement de la réglementation (voir encadré), ces résultats incitent à envisager des stratégies pour limiter le transfert de cadmium vers le grain. Deux leviers d'actions sont possibles : intervenir sur la physiologie de la plante mais aussi sur la phytodisponibilité du cadmium du sol. Il faut ainsi caractériser le potentiel d'accumulation des variétés actuelles, travailler la sélection génétique pour obtenir des variétés peu accumulatrices tout en conservant les qualités de productivité et de valeur d'usage. En effet, chez les céréales et les oléagineux, l'accumulation de cadmium dans le grain varie significativement entre variétés, d'un facteur 2 à 5 suivant l'espèce. Chez le blé dur et le riz, cette variabilité d'accumulation ne provient pas

SÉQUESTRATION DU CADMIUM : un transfert limité vers les grains

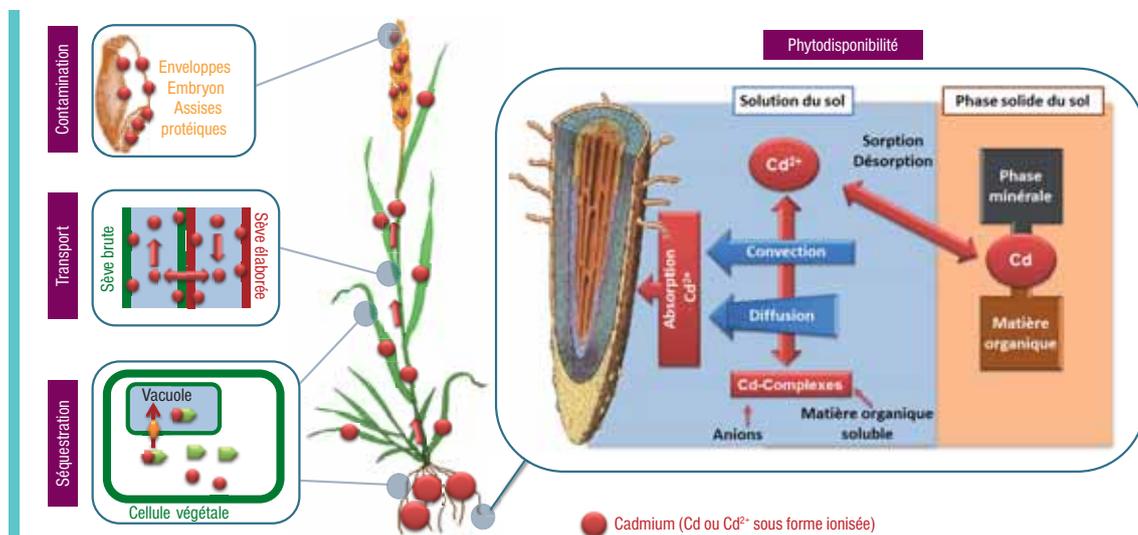


Figure 2 : Les processus majeurs gouvernant la contamination du grain de blé dur par le cadmium.

d'une différence de prélèvement racinaire mais d'une variabilité d'allocation de cadmium au grain. Les processus incriminés seraient, selon le cas, la séquestration racinaire, le chargement dans le xylème et/ou le transfert xylème-phloème.

Chez le blé dur, la découverte d'une région chromosomique étroitement associée à la faible accumulation de cadmium dans le grain a permis aux Canadiens d'obtenir des variétés nettement moins accumulatrices telles que Strongfield ou Brigade. Les interventions culturales doivent quant à elles viser en priorité le maintien du pH du sol au-dessus de 6,5 par chaulage, en évitant les intrants acidifiants (engrais ammoniacaux par exemple). Il est recommandé de surveiller le niveau de contamination cadmiée des intrants : produits résiduels, engrais phosphatés, produits phytosanitaires.



Chez l'homme, l'exposition au cadmium se fait principalement par voies d'inhalation et d'ingestion.

L'analyse de terre permet d'identifier les sols très riches en cadmium, acides, pauvres en matière organique et de texture légère (faible capacité d'échange cationique dite CEC). Ces facteurs favorisent la mobilité de l'élément. Même si leur teneur en cadmium est souvent parmi les plus élevées, les sols carbonatés présentent généralement une faible phytodisponibilité.

Il faut enfin limiter l'apport de sels en raisonnant précisément la fertilisation. Le passage du cadmium en solution est en effet favorisé par les cations qui se sorbent à sa place sur la phase solide.

Christophe Nguyen - Christophe.Nguyen@bordeaux.inra.fr

Jean-Yves Cornu, Laurence Denaix, Julien Laurette,
Valérie Sappin-Didier, André Schneider

INRA TCEM Bordeaux

Benoit Méléard - b.meleard@arvalisinstitutduvegetal.fr

Emmanuelle Gourdain

ARVALIS-Institut du végétal

Les seuils réglementaires : un débat complexe

Dès 2001, la communauté européenne a réglementé la teneur maximale en cadmium dans certaines denrées alimentaires et matières premières destinées à l'alimentation humaine (CE 1881/2006) et animale (CE 87/2005). Pour le blé dur, la teneur seuil est de 0,2 mg/kg de grain commercialisé.

Mais depuis quatre ans, ce seuil fait débat au sein de l'Union européenne et de la France. En janvier 2009, l'Efsa (agence européenne de sécurité sanitaire des aliments) publie un avis selon lequel « les céréales comptent parmi les aliments qui contribuent le plus à l'exposition au cadmium du fait de leur forte consommation ». L'agence évoque ainsi la possibilité d'une sur-exposition de certaines populations, telles que les enfants et les végétariens. Deux ans plus tard, un nouvel avis est publié. Il confirme l'abaissement de la dose hebdomadaire tolérable à 2,5 µg/kg (contre 7 µg/kg admis auparavant). Or, l'exposition des consommateurs est très proche de cette valeur de référence. Fort de ces résultats, la commission européenne décide de réviser les seuils en vigueur sur céréales. Les discussions sont vives entre les États membres. En effet, un seuil abaissé à 0,1 mg/kg pourrait engendrer des déclassements de lots conséquents pour les filières, surtout en blé dur. En mai 2011, la Commission propose un seuil à 0,1 mg/kg sur céréales, à l'exception du blé dur, dont la limite serait fixée à 0,15 mg/kg.

Une marche arrière motivée par l'expertise issue des travaux d'enquêtes

Conjointement à ces discussions, l'étude de l'alimentation totale (EAT) en France publiée par l'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) montre que le risque représenté par les céréales sur leur contribution dans les apports en cadmium ne peut être écarté, confirmant ainsi les conclusions de l'Efsa. Toutefois, après une étude plus poussée, l'Anses publie en novembre 2011 un avis indiquant que l'abaissement des limites en cadmium n'aura aucun impact sur l'exposition du consommateur. Sur ces bases, la commission européenne propose en janvier 2012 un abaissement des seuils en deux temps pour le blé dur, à 0,175 mg/kg sur trois ans puis à 0,15 mg/kg. Mais, la commission fait marche arrière en mai, avec l'abandon du projet d'abaissement des seuils réglementaires pour une recommandation dont le contenu n'est à ce jour pas connu.

En l'espace de trois ans, le discours est passé d'une volonté d'abaissement par deux des limites réglementaires à une simple recommandation. Cette situation révèle la complexité de légiférer sur des limites réglementaires pour les contaminants et surtout, l'intérêt des avis des experts pour une législation cohérente.