

Analyse de thèse

REEMPLACER L'HEXANE PAR LE 2-MÉTHYLOXOLANE POUR DÉSHUILER LES TOURTEAUX D'OLÉAGINEUX : EFFETS SUR LES PERFORMANCES LAITIÈRES, L'UTILISATION DE L'AZOTE, LA QUALITÉ DU LAIT ET LA SANTÉ DES VACHES LAITIÈRES

Thèse de doctorat de Valentin MENOURY¹

Analysée par André PFLIMLIN²

Directrice et directeur de thèse : Anne **FERLAY** et Pierre **NOZIÈRE** : Unité Mixte de Recherche sur les Herbivores, UCA, INRAE Centre Clermont-Auvergne-Rhône-Alpes, VetAgro Sup.

La thèse de Valentin Menoury intervient dans un contexte où l'usage du n-hexane comme solvant d'extraction des oléagineux est de plus en plus contesté pour des raisons toxicologiques et réglementaires. L'EFSA a annoncé en 2024 une réévaluation de sa sécurité, tandis que plusieurs États membres envisagent un durcissement des restrictions. Dans ce paysage mouvant, le 2-méthylloxolane (MeOx), solvant bio-sourcé déjà autorisé comme auxiliaire technologique en alimentation humaine, apparaît comme une alternative potentielle. Pourtant, aucune donnée n'existe sur son utilisation en alimentation animale, ni sur les transferts éventuels de résidus vers les produits animaux. La thèse vise à combler ce vide scientifique en évaluant l'impact de tourteaux déshuilés au MeOx sur les performances laitières, le métabolisme de l'azote, la qualité du lait et la santé des vaches laitières, tout en documentant la présence éventuelle de résidus de solvants dans le lait.

Le manuscrit suit une architecture classique : une revue de littérature sur l'absence de données sur le MeOx en alimentation animale ; la formulation d'hypothèses ; deux expérimentations *in vivo* ; puis une discussion intégrée. Les deux essais comparent des tourteaux avec un traitement hexane ou MeOx sur vaches laitières, en conditions contrôlées, avec mesures couvrant ingestion, production, composition du lait, digestion, métabolisme de l'azote, santé et résidus de solvants. La thèse mobilise une approche statistique originale mais robuste, combinant tests de différence et tests d'équivalence, conformément aux recommandations de l'EFSA. Cette démarche permet d'évaluer non seulement l'existence d'effets, mais aussi la probabilité d'équivalence nutritionnelle entre solvants.

Principaux résultats

Les tourteaux MeOx ont eu une dégradabilité ruminale plus faible et des résidus de MeOx supérieurs. Ces éléments traduisent un échauffement plus marqué lié aux propriétés physico-chimiques du MeOx, constituant un premier point de vigilance. Cependant les performances laitières ont été un peu différentes selon le type de tourteau. Pour le tourteau de soja (TS), les performances laitières sont globalement équivalentes entre solvants : production, ingestion, composition du lait et partition de l'azote ne montrent pas de différences significatives. Pour le tourteau de colza (TC), les tourteaux MeOx entraînent une diminution de la production laitière et une partition de l'azote moins favorable. La dégradabilité ruminale

¹ Thèse de doctorat en Sciences et Technologies de l'Agriculture, de l'Alimentation et de l'Environnement soutenue le 03/11/2025 à l'Université de Clermont Auvergne

² Membre honoraire de l'Académie d'agriculture de France, Section 3 Élevage

plus faible des tourteaux MeOx n'induit pas de gain de production laitière. Le profil lipidique du lait reste globalement stable entre solvants, à l'exception du TC hexane dont la teneur en matière grasse résiduelle modifie légèrement la composition en acides gras. Les indicateurs de santé ne révèlent aucune toxicité aiguë mais soulignent un autre point de vigilance quant aux marqueurs hépatiques, inflammatoires et métaboliques.

Le 3^{ème} point de vigilance concerne la présence de résidus de solvants dans le lait. Les résidus de n-hexane sont détectés, bien qu'à des niveaux très faibles (<10 ng/g), dans 5 laits sur 6 avec le TS hexane, contre 1 sur 6 avec le TS MeOx. Mais des résidus de MeOx apparaissent aussi dans 2 laits sur 6 avec le TS MeOx.

Apports et limites de la thèse dans le contexte industriel et réglementaire européen

La thèse de Valentin Menoury apporte plusieurs éléments nouveaux qui interpellent directement les filières de la trituration, de l'alimentation animale et de la production laitière. **Elle conforte l'hypothèse d'un risque de transfert de solvants depuis les tourteaux vers le lait**, en montrant que des traces de n-hexane et de 2-méthylloxolane peuvent y être détectées. Même si elles sont très faibles, cette observation constitue un souci réel pour les industriels, tritrateurs et laitiers, et invite à documenter plus précisément les résidus présents dans tous les tourteaux, notamment ceux importés qui constituent les plus gros tonnages, justifiant de futures spécifications industrielles et des contrôles plus systématiques. Cependant, même si ces risques de résidus d'hexane dans les huiles et les produits animaux sont confirmés par des séries d'analyses, **le MeOx n'est pas encore une solution opérationnelle pour les filières industrielles**. Les essais sur vaches laitières menés sur une durée de trois à cinq semaines ne permettent pas d'évaluer l'exposition chronique, les phénomènes d'accumulation ou les interactions avec d'autres contaminants. De plus, les tourteaux MeOx utilisés dans l'étude ne sont pas représentatifs des pratiques industrielles, puisque le lot expérimental présente des résidus très supérieurs aux niveaux habituellement observés. La transposition industrielle exigerait des études complémentaires lourdes, incluant des essais chroniques, des données toxicocinétiques, des analyses pour une caractérisation précise des résidus dans des conditions industrielles réalistes. Le MeOx demeure, à ce stade, une piste prometteuse, mais non opérationnelle et plus coûteuse, face à un secteur industriel peu réceptif, ayant largement bénéficié du flou réglementaire avec l'hexane, un solvant très performant et très bon marché.

Cette thèse met surtout en lumière un problème plus large : la quasi-absence de la réglementation européenne sur les résidus de solvants dans les huiles, les tourteaux et les aliments. D'une part, l'hexane fait partie des « auxiliaires technologiques » qui n'ont pas à figurer sur l'étiquette et, d'autre part, la valeur limite maximale de résidus (LMR) dans l'huile, qui ne doit pas dépasser 1mg /kg, repose sur un dossier scientifique bien fragile. Le seul essai enregistré sur la génotoxicité de l'hexane sur rats à 90 jours ayant conduit à fixer ce seuil de tolérance très élevé est désormais considéré comme très insuffisant par l'EFSA¹. Ce flou réglementaire est devenu difficilement tenable. Les solvants peuvent être présents dans les huiles, mais aussi dans les tourteaux à des niveaux très variables, sans contrôle systématique, et migrer vers les produits animaux sans qu'aucun seuil ne soit défini. Les résultats de la thèse de Valentin Menoury montrent qu'il est nécessaire de mettre en place des contrôles systématiques des huiles et des tourteaux, ainsi que des spécifications industrielles obligatoires. Ils soulignent également l'importance d'analyser les résidus dans les produits animaux, afin de garantir la sécurité des consommateurs. L'EFSA a engagé une procédure de réévaluation en septembre 2024 et l'hexane vient d'être classé neurotoxique de catégorie 1 au 1^{er} mai 2026. Faute de solution industrielle alternative opérationnelle, cette réévaluation de la réglementation sur l'hexane, face au flou actuel, apparaît d'une extrême urgence.

En conclusion, cette thèse se distingue par la solidité de sa démarche, la richesse de ses données et l'originalité de son apport dans un domaine scientifique et technologique peu innovant depuis des décennies. Elle constitue la première évaluation intégrée de l'impact du MeOx sur la nutrition des ruminants et sur la sécurité sanitaire du lait. Elle fournit des données inédites utiles aux autorités sanitaires et aux industriels de la trituration. Elle ouvre un champ de recherche nouveau, en vue d'une future réévaluation réglementaire des solvants d'extraction, dont elle met en lumière la nécessité pour préserver la santé des consommateurs.

Pour ces raisons, cette thèse, dont la thématique s'inscrit pleinement dans un champ d'intérêt de l'Académie d'agriculture de France, mérite une valorisation par la présentation de son analyse sur le Site et dans le Mensuel de l'Académie.

¹EFSA (2024) Technical Report on the need for re-evaluation of the safety of hexane used as an extraction solvent in the production of foodstuffs and food ingredients. doi:10.2903/sp.efsa.2024. EN-9001 40p