

RAPPORT D'ACTIVITÉS FINAL

Convention n° : D65-1430

Acronyme: NoWallOdor

Titre : Etablir les outils et les procédures pour sélectionner génomiquement des verrats Piétrain wallons transmettant un faible risque d'odeur de verrat

Date de démarrage et de fin du projet :

du 01/06/2022 au 31/05/2026

Durée du projet : 48 mois

Date de soumission du rapport : 09/10/2026

Prénom, NOM du promoteur du projet	Nicolas GENGLER (GGMN) - coordinateur + Martine SCHROYEN (GGMN) + Luc WILLEMS (BioMol) + Jean-François FOCANT (OBiAChem)
Fonction, titre	Professeur
e-mail	nicolas.gengler@uliege.be
Téléphone	0478 99 97 69
Nom de l'organisation	ULiège - GxABT
Adresse de l'organisation	Passage des Déportés 2, 5030 Gembloux

Prénom, NOM du partenaire 2	Alain GRIFNÉE
Fonction, titre	Directeur
e-mail	alain.grifnee@collegedesproducteurs.be
Téléphone	0497 59 27 19
Nom de l'organisation	SoCoPro
Adresse de l'organisation	Avenue Comte de Smet de Nayer 14, boîte 3 5000 Namur

Prénom, NOM du partenaire 3	Alain HOGGE
Fonction, titre	Directeur général
e-mail	ahogge@awegroupe.be
Téléphone	0470 69 69 99
Nom de l'organisation	Elevéo
Adresse de l'organisation	Rue des Champs Elysées 4, 5590 Ciney

Prénom, NOM du partenaire 4	José WAVREILLE
Fonction, titre	Directeur scientifique
e-mail	j.wavreille@cra.wallonie.be
Téléphone	081 87 45 01
Nom de l'organisation	Centre wallon de Recherches agronomiques (CRA-W), Département Productions agricoles, Unité Productions animales
Adresse de l'organisation	Rue de Liroux 8, 5030 Gembloux

Prénom, NOM du partenaire 5	Olivier VANLOOCKE
Fonction, titre	Administrateur-Directeur
e-mail	o.vanloocke@cergroupe.be
Téléphone	084 22 02 11 (général) 084 22 0214 (direct)
Nom de l'organisation	CER Groupe
Adresse de l'organisation	Novalis Science Park, Rue de la Science 8, 6900 Aye

Résumé du programme et objectifs initialement prévus (300 mots maximum)

Le bien-être animal (BEA) fait partie intégrante des enjeux de l'élevage. Le secteur porcin en est bien conscient et travaille en ce sens. Parmi ces aspects de BEA, la castration des porcelets reste un sujet fort pour lequel des solutions doivent être trouvées. Ces solutions doivent intégrer la durabilité des productions dans ses trois piliers, en ce compris aussi le volet économique qui reste un point compliqué au niveau EU. En effet, le choix d'une alternative ne doit pas être une entrave au commerce entre les pays. L'élevage de mâles entiers fait partie des alternatives possibles. Néanmoins, des obstacles doivent être levés en matière de qualité de viande tant dans la quantité de gras (trop peu abondant pour des productions à valeur ajoutée) et sa qualité (saturation des graisses, pas bonne à la transformation en sec), que dans le risque de voir apparaître pour certains mâles une odeur désagréable à la cuisson de la viande, qui peut gêner certains consommateurs plus sensibles. Celle-ci est principalement causée par la présence en quantités élevées dans le tissu adipeux de deux composants : l'androsténone et le scatol. Le projet vise au travers de la sélection génomique, à sélectionner des verrats qui transmettent un faible risque d'odeur, afin de répondre à cette alternative de production de mâles entiers. Le choix de la race Piétrain en Wallonie amène un ancrage local fort en Wallonie. Dans ce cadre, une multitude de techniques de phénotypage sont testées, certaines bien établies, telles que la mesure de l'androsténone et du scatol dans les tissus adipeux, d'autres plus innovantes. L'objectif en Phase 2 du projet sera de pouvoir pérenniser le phénotypage et le génotypage à différents niveaux afin de permettre la sélection des verrats. Des corrélations phénotypiques et génétiques seront estimées à travers les différents phénotypes et un index pour un faible risque d'odeur sera établi. Les relations avec d'autres caractéristiques qui ont un impact socio-économique seront également examinées afin d'éviter une réponse corrélée indésirable. L'objectif est de mettre à la disposition de la profession, au plus tard fin du projet, un index de sélection intégratif traduisant des objectifs de sélection durables. Même si le projet se concentre sur le Piétrain Wallon, certains résultats scientifiques pourront être transposés à d'autres races de porcs.

1. Synthèse de la totalité des résultats acquis au cours de la recherche

1.1 Principaux résultats obtenus

Le projet NoWallOdor a permis de démontrer la faisabilité d'une sélection génomique contre l'odeur de verrat au sein de la population Piétrain en Wallonie. Les travaux ont conduit à la constitution d'une population de référence unique combinant phénotypes, génotypes et performances de production, au développement d'un système d'évaluation génomique opérationnel et à la production des premières listes de verrats classés selon leur risque génétique de transmettre l'odeur de verrat. Plusieurs approches innovantes, notamment la volatilmique, la spectroscopie Raman, l'étude du microbiote et le regroupement de trait, ont été développées et mises à profit du projet.

La réussite du projet NoWallOdor repose sur la pluridisciplinarité du consortium (ULiège – SoCoPro – Elevéo – CRA-W – CER Groupe) dont la collaboration étroite a constitué le véritable moteur de l'avancement. Travailler ensemble a permis de coordonner efficacement la gestion du projet, d'assurer la progression des tâches, de s'accorder sur les actions et de résoudre les difficultés rencontrées, grâce à une communication continue entre les partenaires. Cette dynamique collective s'est appuyée sur la complémentarité des expertises (terrain, gestion d'élevage, abattage, échantillonnage, analyses en laboratoire, traitement des données et recherches scientifiques).

L'un des résultats majeurs du projet est la mise en place d'une infrastructure scientifique et technique intégrée permettant de relier les données de terrain, les phénotypes d'odeur de verrat, les analyses chimiques, les génotypes et les outils d'évaluation génomique.

La gestion du projet a reposé sur une coordination structurée entre partenaires, incluant l'organisation régulière de réunions, une documentation rigoureuse et un suivi continu des données afin d'assurer la cohérence des informations collectées, leur qualité scientifique et leur exploitation à des fins d'application pratique pour le secteur porcin wallon.

Plusieurs sources de données existent : les enregistrements de données régulières, encodées par les partenaires au travers de deux sources (i.e., fichier partagé, géré par le CRA-W et l'ULiège-GGMN, et la base de données d'Elevéo disponible à travers les évaluations génétiques de routine) et les données de recherches scientifiques et analyses analytiques, multi-sourcées et archivées sur le serveur interne de l'ULiège-GGMN.

Cette organisation a permis de constituer une base de données unique regroupant les informations d'élevage, les données de carcasse, les évaluations sensorielles, les analyses chimiques ciblées, les données génomiques et les phénotypes innovants développés dans le cadre du projet. Cette base constitue un acquis durable et directement mobilisable pour la poursuite des évaluations génétiques après la fin du projet.

La documentation décrivant ces données, les procédures de contrôle qualité, les flux d'intégration et les programmes de lecture et de traitement des fichiers a été développée afin de garantir la traçabilité, la reproductibilité et la pérennisation des résultats obtenus.

Dans la perspective d'une utilisation à long terme, ces développements s'inscrivent dans une logique de gestion des données conforme aux principes FAIR (Findable, Accessible, Interoperable and Reusable), afin de faciliter leur exploitation future par les partenaires du projet et les acteurs de la sélection porcine wallonne.

Au-delà de son rôle de support scientifique, cette infrastructure représente un élément directement transférable au terrain puisqu'elle constitue la base nécessaire au déploiement en cours d'évaluations génétiques de routine relatives au risque d'odeur de verrat chez le Piétrain Wallon.

Les activités d'élevage ont nécessité une planification rigoureuse, depuis l'insémination jusqu'à l'abattage, qui a été gérée conjointement par le CRA-W et Elevéo. Pendant la période, 17 bandes de porcs croisés ont été suivies jusqu'à l'abattage portant le nombre de mâles entiers abattus à 1668 (total de 1540 prévus). Cet effectif dépasse les objectifs initiaux du projet et a permis de constituer une population de référence d'une ampleur suffisante pour réaliser des analyses génétiques et génomiques robustes de l'odeur de verrat. Les biopsies auriculaires ont été prélevées aux porcelets croisés et aux truies mères au CRA-W et conservées jusqu'à leurs analyses de génotypage selon les protocoles #2307 et #1861. 3926 biopsies auriculaires ont été réalisées sur les 17 bandes (sur 4000 prévues). Pendant la vie des animaux, les données de croissance, consommation alimentaire et qualité de la carcasse ont été enregistrées au CRA-W avant l'engraissement puis à la station d'engraissement Cerexhe-Heuseux et au CRA-W pendant l'engraissement jusqu'à l'abattage. Jusqu'à juin 2024, les deux lieux d'engraissement étaient utilisés. Ensuite, seule la ferme du CRA-W a engraisé des verrats croisés. Les mesures pendant l'engraissement consistent en des pesées (jour 4, sevrage, 4 mesures entre l'entrée en engraissement et le départ pour l'abattoir), poids consommé d'aliment ou mesure quotidienne par Selfifeeder® et qualité de la carcasse (épaisseur de lard dorsal, pourcentage en viande et profondeur du carré) par Piglog. À la fin de l'engraissement, des matières fécales ont été prélevées au CRA-W par l'ULiège à une bande de verrats engraisés (au total du projet sur 4 bandes de verrats représentant 224 échantillons). La planification de l'abattage à Aubel (Lovenfosse), la collecte de données (mesures par AutoFOM™ et le nez abattoir) et l'échantillonnage (sang et gras) en abattoir ont été gérés par le CRA-W et Elevéo et soutenu par l'ULiège-GGMN. Au terme du projet, 2424 échantillons de sang (conservés sous forme sérum), 2473 échantillons de gras dorsal de cou (en trois exemplaires) et 467 échantillons de muscles ont été inventorisés. L'ensemble de ces prélèvements constitue une biobanque unique en Wallonie pour l'étude de l'odeur de verrat et de ses déterminants génétiques, physiologiques et microbiologiques. Ces échantillons qui ont été conservés au CRA-W pour les analyses pendant la période, seront préservés à longue échelle pour éventuellement être analysés *a posteriori*.

En ce qui concerne la veille technologique, deux aspects de phénotypage à haut débit ont été explorés. La collaboration avec les intervenants du projet Agrosensor a été maintenue et se poursuit bien que le capteur n'ait pas pu être utilisé pendant le projet. Pendant la période, une bande a été phénotypée avec le capteur et des échantillons ont été transmis aux intervenants du projet pour aider au développement du capteur. Bien que cet outil n'ait pas pu être validé complètement dans le cadre du présent projet, les travaux réalisés ont permis de maintenir une connexion avec cette technologie émergente et de préparer de futures évaluations de son potentiel dans les filières porcines wallonnes.

Le second aspect consiste à utiliser des outils spectroscopiques pour phénotyper la matrice du gras, en collaboration avec le CRA-W. Quatre outils spectroscopiques (MIR-ATR, Handheld NIR-ASD Contact probe, Microscope Raman 785nm, Raman 1064nm) ont été utilisés pour phénotyper 299 échantillons de gras ayant été phénotypés pour des traits d'odeur de verrat (composés quantifiés analytiquement). Cette étude constitue l'une des premières évaluations intégrées de technologies spectroscopiques dans un contexte de sélection génétique contre l'odeur de verrat. Les données mesurées en Raman 1064nm ont fait l'objet d'une étude préliminaire, soumise pour publication, afin de démontrer le potentiel de l'outil pour la sélection génétique contre l'odeur de verrat. Une prédiction basée sur les spectres et des classifications de scatole et d'androsténone a été développée et analysée en modèle génétique multivarié (ssGBLUP). Les résultats ont montré que les prédictions obtenues à partir des spectres contiennent une composante génétique exploitable et présentent des corrélations favorables avec les principaux composés responsables de l'odeur de verrat. Les résultats démontrent que l'utilisation de la spectroscopie pourrait compléter les analyses sensorielles. Ils confirment également qu'une partie de l'information actuellement obtenue par des méthodes analytiques plus coûteuses pourrait être captée par des outils rapides et non destructifs. L'utilisation de cette technique, bien qu'elle n'atteigne pas

nécessairement la précision des quantifications du scatole et de l'androsténone, pourrait réduire les coûts liés au temps, à l'argent et à la destruction de matériel biologique. Ces travaux ont ainsi permis de valider le potentiel de la spectroscopie Raman comme outil complémentaire de phénotypage à haut débit et constituent une avancée prometteuse pour la pérennisation du phénotypage nécessaire aux évaluations génétiques futures.

L'un des acquis méthodologiques majeur du projet est le développement et la validation d'une stratégie d'échantillonnage basée sur les valeurs génétiques. Cette approche permet d'identifier de manière efficace les animaux les plus informatifs tout en préservant la représentativité de la diversité génétique de la population et en tenant compte des principaux facteurs influençant la prévalence de l'odeur de verrat. Son utilisation dans le cadre du projet a contribué à optimiser les campagnes de phénotypage et de génotypage, permettant de maximiser l'information acquise tout en limitant les coûts analytiques. Au-delà du contexte spécifique de l'odeur de verrat, cette méthodologie est directement transférable à d'autres programmes de sélection ou de recherche confrontés à des contraintes de ressources. Elle offre une solution robuste pour la constitution de populations de référence, le ciblage des animaux à génotyper ou à phénotyper, l'amélioration des modèles génétiques et multi-omiques ainsi que l'optimisation des investissements nécessaires à la collecte de données. Cette approche constitue dès lors un outil opérationnel susceptible d'être réutilisé dans de nombreux contextes de sélection animale.

Le génotypage des biopsies auriculaire a été géré par Elevéo. En plus des descendants croisés et truies mères Landrace, les Piétrains de la population ont également été génotypés. Au total, 5 878 croisés Piétrain × Landrace, 349 Piétrains et 166 truies Landrace ont été génotypés. Afin d'assurer l'exploitation conjointe des données issues de deux puces SNP distinctes, une routine d'imputation a été développée et validée, permettant l'harmonisation des informations génomiques. Le fichier de génotypes traité comprend désormais 7 635 animaux génotypés, constituant l'une des plus importantes ressources génomiques disponibles pour la population de Piétrain en Wallonie. Les 278 génotypes seront prochainement ajoutés après nettoyage et d'imputation.

Les analyses en laboratoire ont été réalisées par un opérateur entraîné du CRA-W sur 1 368 verrats croisés pendant la période, conduisant le nombre total verrats croisés phénotypés à 2 165 dans le cadre du projet. Cette population de référence, associant données phénotypiques, analytiques et génomiques, constitue un acquis majeur du projet et fournit une base solide pour les évaluations génétiques de routine ainsi que pour de futurs développements en sélection génomique contre l'odeur de verrat et pour d'autres caractères d'intérêt.

Plusieurs approches ont été développées par ULiège-OBiAChem afin discriminer l'odeur de verrat à partir de profils volatilomiques dans les gras et lipidomiques dans le sérum. Le profil lipidique de sera a été analysé par chromatographie en phase gazeuse bidimensionnelle – spectrométrie de masse temps de vol (GC×GC–TOFMS) en utilisant une conception factorielle complète afin d'établir des profils discriminants de l'odeur de verrat. Cette étude a été publiée (Bhatt et al., 2022 - [doi:10.3390/metabo12111111](https://doi.org/10.3390/metabo12111111)) et a démontré que les porcs odorants présentent des présentations plus élevées en acides gras polyinsaturés ω -6 et dérivés du cholestérol tandis que les verrats non-odorants montrent des niveaux plus élevés en acides gras saturés et en acides gras polyinsaturés ω -3. Les analyses des voies métaboliques suggèrent une implication du métabolisme de l'acide linoléique. Ces résultats ont permis de mettre en évidence des signatures métaboliques associées à l'odeur de verrat et d'améliorer la compréhension des mécanismes biologiques impliqués.

Un modèle de classification pour la détection de l'odeur de verrat a été élaboré et validé sur base d'analyse de 129 échantillons de gras de verrats par microextraction en phase solide de l'espace de tête en combinaison avec la chromatographie en phase gazeuse bidimensionnelle couplée à la spectrométrie de masse temps-de-vol (HS-SPME-GC×GC-TOFMS). En plus de l'indole, du scatole et de l'androsténone, 10 nouveaux composés issus de l'analyse volatilomique ont été identifiés comme discriminants de l'odeur de verrat. Cette méthode a été publiée (Rodrigues et al., 2024 – [doi:10.1016/j.foodchem.2024.138572](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138572)). Il s'agit d'un apport original du projet permettant d'élargir le nombre de biomarqueurs potentiellement utilisables pour caractériser le phénotype odeur de verrat.

Un système qualité sur l'instrument a ensuite été implémenté et sa stabilité analytique a été confirmée avec un suivi de composés sur 1 an confirmant la fiabilité de données générées. L'analyse métabolomique des échantillons fécaux a permis de détecter les métabolites responsables de l'odeur de verrat. En combinant les informations de composés volatiles et non-volatiles avec ces outils de traitement avancés, 18 composés associés à l'odeur de verrat (incluant indole, scatole et androsténone) ont été mis en évidence. Cette approche multi-omique a permis d'identifier de nouveaux biomarqueurs et de renforcer la capacité de discrimination entre animaux odorants et non odorants.

Cette combinaison omique permet une interprétation biologique plus précise et des méthodes non-invasives pour évaluer les phénotypes olfactifs chez les porcs. Les résultats obtenus démontrent le potentiel des approches multi-omiques pour soutenir à terme les travaux de sélection génétique contre l'odeur de verrat.

En outre des recherches sur l'odeur de verrat, le laboratoire ULiège-OBiAChem a développé un mélange de référence diversifié comprenant différentes familles chimiques, simulant la complexité des échantillons biologiques (Century Mix) pour évaluer les performances GCxGC, vérifier sa stabilité et garantir la qualité des données. Cet outil méthodologique constitue également un acquis du projet en permettant de sécuriser et de standardiser les futures analyses omiques.

Le CER Groupe a généré un jeu de données analytique de référence comprenant 180 échantillons de gras et 180 échantillons de sérum caractérisés par UHPLC-MS/MS. Ces analyses ont permis la détection, l'identification et la quantification des principaux composés associés à l'odeur de verrat (indole, scatole, androsténone, α - et β -androsténol, androstadiénone et androstadiénol) ainsi que des hormones 17β -oestradiol et 17β -testostérone. Cette base analytique constitue l'un des fondements des développements génétiques et génomiques réalisés dans le projet et a permis d'identifier les animaux les plus à risque ainsi que d'estimer les relations entre les différents phénotypes étudiés.

Plusieurs analyses complémentaires ont été menées afin de caractériser le microbiote intestinal des verrats et d'évaluer son lien potentiel avec la production de scatole et d'autres composés impliqués dans l'odeur de verrat. Le séquençage 16S de 50 échantillons a permis d'identifier plusieurs populations bactériennes associées au phénotype odeur de verrat, confirmant l'intérêt du microbiote comme source potentielle de nouveaux indicateurs biologiques. Sur cette base, trois genres bactériens (*Catenibacterium*, *Fusicatenibacter* et *Olsenella*) ont été sélectionnés pour des analyses ciblées par PCR quantitative (qPCR). Réalisées sur 69 échantillons, celles-ci ont mis en évidence des tendances cohérentes avec les résultats du séquençage, tout en soulignant l'importance des facteurs environnementaux dans la variabilité observée. En complément, une méthode de quantification par digital PCR (dPCR) a été développée et validée en interne afin de mesurer avec une grande précision l'abondance de bactéries, y compris lorsqu'elles sont présentes à de très faibles niveaux. Cette méthode a ensuite été appliquée à 22 échantillons pour quatre genres bactériens (*Catenibacterium*, *Fusicatenibacter*, *Olsenella* et *Parabacteroides*).

L'intégration des données phénotypiques, génétiques et microbiotiques au sein d'analyses multivariées a permis de mettre en évidence des associations prometteuses entre certains profils bactériens et le risque d'odeur de verrat. Ces résultats constituent un apport nouveau du projet, en ouvrant la voie à une meilleure compréhension des mécanismes biologiques impliqués dans l'apparition du caractère. Ils démontrent également le potentiel des approches multi-omiques pour l'identification de biomarqueurs complémentaires aux méthodes de phénotypage traditionnelles.

Bien que ces approches nécessitent encore des validations sur des effectifs plus importants avant une utilisation de routine, elles représentent une piste prometteuse pour le développement futur d'outils non-invasifs de prédiction et de sélection contre l'odeur de verrat.

Les évaluations génétiques porcines existantes relatives à la croissance, à l'efficacité alimentaire et à la qualité de la carcasse ont été adaptées afin d'intégrer le caractère « odeur de verrat » dans un cadre d'évaluation

génomique cohérent et directement compatible avec les systèmes de sélection wallons. Les modèles d'évaluation ont été optimisés pour exploiter conjointement l'ensemble des informations phénotypiques, généalogiques et génomiques disponibles. Au cours du projet, 16 bandes ont été évaluées et les premières valeurs d'élevage génomiques accompagnées de leur précision ont été produites et publiées pour 300 verrats Piétrain.

Plusieurs stratégies de modélisation ont été comparées afin d'identifier la combinaison de phénotypes la plus pertinente. Le système retenu repose sur le score sensoriel du nez laboratoire, les concentrations d'indole, de scatole et d'androsténone ainsi qu'un index regroupant les composés organiques volatils. Les analyses réalisées sur les données du nez laboratoire ont permis de démontrer que le score sensoriel constitue un phénotype pertinent pour la sélection génétique contre l'odeur de verrat, malgré une héritabilité faible à modérée, grâce à ses fortes corrélations génétiques avec le scatole et l'androsténone (Markey et al., 2025a, [doi:10.1093/jas/skae389](https://doi.org/10.1093/jas/skae389)). L'ajout de l'indole permet en outre de mieux caractériser certains animaux odorants présentant de faibles concentrations des deux composés principaux.

En complément, un index de composés organiques volatils regroupant 13 biomarqueurs a été développé et validé sur base des travaux de Rodrigues et al. (2024), puis publié dans Markey et al. (2025b, [doi:10.1016/j.livsci.2025.105844](https://doi.org/10.1016/j.livsci.2025.105844)). Cette approche permet de générer une réponse génétique vis-à-vis du score sensoriel supérieure à celle obtenue en utilisant uniquement les concentrations d'indole, de scatole et d'androsténone. Lorsque les données volatilomiques ne sont pas disponibles, ces trois composés conservent toutefois toute leur pertinence pour compléter l'information phénotypique.

Les analyses multivariées réalisées démontrent qu'une réponse génétique favorable à la sélection contre l'odeur de verrat est attendue, y compris lorsque le phénotypage repose principalement sur le score sensoriel, actuellement le plus facilement déployable à grande échelle. Ces résultats constituent une avancée importante pour la pérennisation du phénotypage et la mise en œuvre d'une sélection durable contre l'odeur de verrat.

Afin de faciliter l'intégration du nouveau caractère dans les systèmes de routine, une méthode originale de regroupement de l'information génétique multivariée en un caractère unique a été développée (Markey & Gengler, article actuellement en révision majeure). Cette approche permet de conserver l'information apportée par l'ensemble des traits tout en simplifiant son utilisation dans les évaluations génétiques courantes. Elle offre également la possibilité d'intégrer ultérieurement de nouveaux phénotypes, issus de la recherche ou du terrain, sans devoir modifier en profondeur les systèmes d'évaluation existants.

En parallèle, une évaluation génétique combinée associant qualité de la carcasse et odeur de verrat a été développée et validée. Les résultats montrent que l'introduction du caractère « odeur de verrat » n'affecte que très faiblement les évaluations des caractères de production déjà utilisés en sélection. Les corrélations observées entre l'odeur de verrat et les caractères de carcasse sont faibles à modérées, indiquant qu'une amélioration génétique de ce caractère peut être envisagée sans compromettre les progrès réalisés sur les autres objectifs de sélection.

Les analyses de précision et de capacité prédictive ont confirmé que le système combiné carcasse-odeur fournit des prédictions plus robustes que l'évaluation isolée du caractère odeur de verrat. Sur cette base, le système génétique combiné a été validé et est prêt à être déployé dans les évaluations génétiques de routine, la finalisation informatique de son intégration étant en cours.

Enfin, un indicateur de risque génétique d'odeur de verrat a été développé à partir des valeurs d'élevage, permettant l'établissement des premières listes de verrats classés selon leur niveau de risque. Une population de référence de 40 verrats a été constituée et le risque génétique a déjà été estimé pour 68 reproducteurs. Un index de sélection intégratif combinant les informations issues des différentes évaluations génétiques a également été développé. Structuré en quatre sous-index et testé dans différents scénarios de sélection, il constitue une base opérationnelle pour la construction future d'outils d'aide à la décision. Sa finalisation fera

l'objet d'un processus de cocréation avec les éleveurs afin d'assurer son adéquation avec les objectifs de la filière.

La communication et la diffusion ont constitué un volet important du projet. Des réunions ont été organisées avec les éleveurs et producteurs, notamment lors des commissions Piétrain, foires agricoles, Assemblées Sectorielles... afin de présenter l'avancement des travaux et recueillir les besoins du terrain. Ces échanges ont permis d'orienter certains développements du projet en tenant compte des attentes exprimées par les acteurs de la filière porcine. Le projet a également été valorisé à travers des présentations en conférences, des posters scientifiques et des publications, tant dans des revues spécialisées que sous forme de documents vulgarisés aux acteurs de la filière. Cette activité de diffusion a contribué à la reconnaissance scientifique des résultats obtenus ainsi qu'à leur transfert progressif vers les utilisateurs finaux. Ces actions ont contribué à renforcer le lien entre la recherche et le terrain, tout en assurant une diffusion large et structurée des résultats. Elles ont également permis de sensibiliser la profession aux possibilités offertes par la sélection génomique comme solution durable de réduction du risque d'odeur de verrat.

La liste de verrats classés selon leur risque génétique d'odeur de verrat constitue l'un des principaux livrables du projet et sera transmise aux éleveurs lors de la prochaine Commission Piétrain.

1.2 Résultats réellement utilisables / transposables sur le terrain

Le projet NoWallOdor a permis de dépasser le stade de la recherche exploratoire et a abouti à plusieurs résultats directement mobilisables par la filière porcine wallonne. Le principal résultat transposable est la mise en place d'une évaluation génétique du risque d'odeur de verrat intégrée au schéma de sélection du Piétrain Wallon. Les valeurs d'élevage génomiques obtenues permettent déjà de classer les verrats selon leur risque de transmettre l'odeur de verrat à leur descendance et de constituer des listes d'animaux utilisables dans les décisions de sélection.

Le projet a également permis de constituer une base de données de référence unique associant performances d'élevage, qualité de carcasse, phénotypes d'odeur, généalogie et génotypes. Cette ressource constitue un atout durable pour les évaluations génétiques futures ainsi que pour de nouveaux projets de recherche et de développement.

Les procédures de collecte de données, de génotypage, d'imputation et d'évaluation génomique ont été développées et validées. Elles peuvent être intégrées de manière pérenne dans les évaluations génétiques de routine d'Elevéo.

Les travaux ont démontré qu'il est possible de réduire fortement les coûts de phénotypage grâce à une stratégie d'échantillonnage ciblée sur les animaux les plus informatifs du point de vue génétique. Cette approche constitue un levier important pour maintenir à long terme un système de sélection contre l'odeur de verrat économiquement réaliste.

Enfin, pour l'aspect transférabilité vers d'autres races, les recherches se laissent classer en plusieurs catégories. D'un côté toutes les technologies d'échantillonnage, de phénotypage, de regroupement d'information, etc. peuvent être valorisées dans d'autres contextes et d'autres races. D'un point de vue génétique, les méthodologies sont aussi transférables. En revanche, les résultats d'évaluation génétique concernent directement uniquement les populations évaluées. Il s'agit, d'une part, des verrats Piétrain testés et, d'autre part, à travers la génomique, les autres Piétrains de la population en Wallonie. De plus, ces travaux utilisent une population de truies identifiées et génotypées ce qui permet aussi d'étendre les résultats génétiques à ces animaux. Par exemple, un système de suivi plus large qui ferait appel à des troupeaux commerciaux pourrait aider ces producteurs à disposer de lignées maternelles Landrace transmettant un moindre risque d'odeur à leur descendance.

1.3 Limites / points d'attention

Malgré les résultats obtenus, plusieurs points d'attention doivent être soulignés.

Pour commencer, l'odeur de verrat est un phénotype complexe, résultant d'interaction multifactorielle entre les composés organiques volatils issus de voies physiologiques différentes (e.g., la voie stéroïdienne pour l'androsténone et le métabolisme intestinal pour le scatole), le microbiote, la nutrition, la génétique... Cette multiplicité de mécanismes et de composés impliqués dans l'odeur de verrat rend difficile l'identification de biomarqueurs uniques, robustes et universellement applicables. Par ailleurs, les approches de phénotypage approfondi actuellement disponibles reposent majoritairement sur des analyses complexes, coûteuses et difficilement transférables à des dispositifs de phénotypage à haut débit. Dans ce contexte, une part importante des travaux du projet a consisté à rechercher un équilibre entre précision du phénotypage, faisabilité opérationnelle et coûts de mise en œuvre. À ce jour, aucun outil alternatif n'a encore démontré un niveau de validation suffisant pour remplacer les méthodes de référence dans le cadre d'un phénotypage rapide de l'odeur de verrat. Néanmoins, les stratégies d'échantillonnage, les approches de phénotypage innovantes et les méthodes d'évaluation développées dans le cadre du projet constituent des acquis importants qui serviront de base aux futurs développements visant à mettre en place des outils de phénotypage plus rapides, plus accessibles et compatibles avec une utilisation à grande échelle.

Les approches innovantes développées dans le cadre du projet, notamment la spectroscopie Raman, les approches volatilomiques et les analyses du microbiote, présentent un potentiel important pour une utilisation de routine à grande échelle. Le capteur développé dans le cadre du projet Agrosensor n'a pas pu être validé pendant la durée du projet, ce qui limite actuellement l'évaluation de son potentiel dans les dispositifs de détection rapide à l'abattoir.

Le phénotypage sensoriel par nez humain reste aujourd'hui la méthode la plus directement disponible pour alimenter l'évaluation génétique de l'odeur de verrat. Toutefois, cette méthode présente une variabilité intrinsèque liée à l'opérateur et ne permet pas, à elle seule, de capturer l'ensemble des mécanismes biologiques impliqués dans ce caractère complexe. Les interruptions ou changements d'opérateurs peuvent également affecter la continuité des séries de données. Afin de limiter cette contrainte, le système d'évaluation développé dans le projet, basé sur le regroupement de l'information génétique issue de plusieurs traits décrivant le phénotype « odeur de verrat » (Markey & Gengler), a été conçu de manière évolutive. Il permet d'intégrer de nouvelles sources d'information, qu'elles proviennent d'un nouvel opérateur, d'approches spectroscopiques ou d'autres méthodes émergentes, tout en préservant la valorisation des données historiques déjà collectées. Cette flexibilité constitue un atout important pour assurer la pérennité des évaluations génétiques de l'odeur de verrat à long terme.

De manière générale, les techniques de phénotypage de l'odeur de verrat requièrent une mesure post-abattage. Dans cet élément, le génotypage au stade jeune pourrait être un aspect plus développé. Il requiert une routine de génotypage rapide. Les analyses microbiotes sont aussi une méthode applicable avant abattage mais comme mentionné cette méthode requiert d'être validée.

En ce qui concerne les travaux génétiques, l'hétérogénéité des données multi-sourcées nécessitent des routines et préparations de données approfondies. Ces routines doivent être attentivement réalisées afin d'éviter tout problème d'estimation des valeurs d'élevage. Les demandes computationnelles peuvent devenir de plus en plus importantes et ce point d'attention est particulièrement pris en compte lors de l'optimisation des programmes et de leur utilisation.

Enfin, même si les premiers résultats montrent des relations génétiques limitées entre odeur de verrat et caractères de production, la poursuite du suivi des effets corrélés sur la qualité de la viande et les performances de reproduction reste nécessaire dans une logique de sélection durable.

1.4 Résultats face aux demandes actuelles du terrain en lien avec la recherche

Les échanges menés avec les éleveurs, sélectionneurs et représentants de la filière ont confirmé l'importance de disposer de solutions concrètes permettant de réduire progressivement le recours à la castration tout en maintenant la viabilité économique des élevages.

Les attentes exprimées concernent principalement la disponibilité d'outils de sélection permettant d'identifier précocement les verrats présentant le plus faible risque d'odeur de verrat, y compris lorsqu'ils ne disposent pas encore de descendance testée. Les évaluations génomiques répondent directement à cette demande.

Le terrain exprime également un intérêt marqué pour des méthodes rapides, robustes et économiquement accessibles de contrôle de l'odeur à l'abattoir ainsi que pour le développement d'informations simples à interpréter dans les catalogues de sélection.

Par ailleurs, la qualité de la viande demeure une préoccupation importante. Les acteurs de la filière souhaitent que la réduction du risque d'odeur soit compatible avec le maintien des performances techniques, de la qualité des carcasses et de la valorisation commerciale des produits issus de mâles entiers.

Un autre point d'attention régulièrement exprimé par le terrain concerne l'efficacité alimentaire et, plus particulièrement, la consommation d'aliment. Des évolutions importantes sont en cours, tant au niveau des méthodes de mesure, qui reposent désormais sur des dispositifs plus fiables et générant des données longitudinales plus riches, qu'au niveau des évaluations génétiques qui devront être adaptées afin de valoriser pleinement ces nouvelles informations. Les modalités de présentation et d'interprétation des résultats méritent également une réflexion approfondie. En particulier, nos travaux confirment que l'utilisation de l'indice de consommation (IC) comme indicateur principal présente certaines limites et qu'une réévaluation de son utilisation dans les schémas de sélection apparaît souhaitable afin de mieux exploiter les données désormais disponibles et de répondre aux attentes du secteur.

Enfin, dans un contexte de forte pression économique sur la production porcine wallonne, les acteurs du secteur attendent des outils leur permettant d'améliorer simultanément bien-être animal, compétitivité économique et acceptabilité sociétale des modes de production.

2. Conclusions exhaustives d'interprétation des résultats

Le projet NoWallOdor avait pour objectif de développer les outils, méthodes et connaissances nécessaires à la mise en place d'une sélection génomique contre l'odeur de verrat au sein de la population Piétrain Wallon. Les résultats obtenus démontrent que cet objectif a été atteint et que les bases scientifiques, techniques et organisationnelles sont désormais disponibles pour intégrer durablement ce caractère dans les schémas de sélection wallons.

L'un des principaux acquis du projet réside dans la constitution d'une population de référence d'une ampleur inédite pour la Wallonie. Grâce à la collecte coordonnée de phénotypes, de génotypes, de données de performances, d'informations de pédigrée ainsi que d'échantillons biologiques, il a été possible de constituer une ressource structurée permettant d'étudier l'odeur de verrat sous différents angles complémentaires. Cette infrastructure représente en elle-même un résultat majeur, puisqu'elle constitue désormais une base de travail durable pour les évaluations génétiques futures ainsi que pour le développement de nouvelles approches scientifiques.

Les travaux ont confirmé que l'odeur de verrat possède une composante génétique exploitable et qu'une réponse à la sélection est possible. Les analyses réalisées sur les phénotypes sensoriels, les composés chimiques responsables de l'odeur et les nouveaux indicateurs développés dans le projet montrent des héritabilités suffisantes ainsi que des corrélations génétiques favorables permettant une amélioration progressive du caractère par sélection. Les résultats obtenus démontrent ainsi qu'il est possible de réduire génétiquement le risque d'odeur de verrat sans devoir recourir exclusivement à des méthodes de gestion ou à des interventions sur les animaux.

Au-delà de cette démonstration scientifique, le projet a permis de développer une chaîne opérationnelle complète allant du phénotypage jusqu'à l'évaluation génétique. Les méthodes d'échantillonnage, de génotypage, de contrôle qualité des données, d'imputation génomique et d'évaluation génétique ont été développées, validées et intégrées dans une logique compatible avec les évaluations réalisées en routine. Cette évolution constitue probablement le principal résultat appliqué du projet. Pour la première fois, il est devenu possible de produire des estimations du risque génétique d'odeur de verrat pour les verrats Piétrain Wallon et d'établir des listes d'animaux classés selon leur potentiel de transmission du caractère.

Un autre résultat important concerne l'intégration du caractère « odeur de verrat » dans le contexte plus large des objectifs de sélection de la race. Les analyses réalisées montrent que les relations génétiques entre l'odeur de verrat et les caractères classiques de production sont globalement faibles à modérées. L'introduction du nouveau caractère n'a pas remis en cause la stabilité des évaluations génétiques existantes et n'a pas perturbé les classements des animaux pour les caractères de production. Ces résultats indiquent qu'une amélioration de l'odeur de verrat peut être poursuivie sans compromettre les progrès réalisés en matière de croissance, de qualité de carcasse ou d'efficacité alimentaire.

Le projet a également généré plusieurs avancées méthodologiques et scientifiques dépassant largement le cadre de la seule odeur de verrat. Parmi celles-ci figurent notamment le développement d'une stratégie innovante de phénotypage ciblé basée sur les valeurs génétiques, l'intégration de données multi-omiques dans les analyses génétiques, le développement d'un phénotype regroupé permettant de synthétiser l'information provenant de plusieurs caractères, ainsi que l'exploration de nouvelles technologies de phénotypage telles que la spectroscopie Raman. Ces développements présentent un potentiel de valorisation dans d'autres contextes d'évaluation génétique animale où les capacités de phénotypage sont limitées ou coûteuses.

Les recherches conduites dans les domaines de la volatilité, de la métabolomique et du microbiote ont permis d'identifier de nouveaux biomarqueurs associés à l'odeur de verrat. Elles ont également amélioré la compréhension des mécanismes biologiques impliqués dans l'apparition du défaut. Ces approches ont confirmé le caractère multifactoriel du phénomène et suggèrent que des informations complémentaires aux mesures traditionnelles de scatole et d'androsténone pourraient être utilisées à l'avenir pour renforcer encore la précision des évaluations génétiques.

Malgré ces résultats très encourageants, plusieurs limites doivent être soulignées. Certaines approches développées dans le cadre du projet demeurent à un stade exploratoire ou de validation. C'est notamment le cas des outils spectroscopiques et des approches basées sur le microbiote, dont les résultats sont prometteurs mais nécessitent encore des travaux complémentaires avant une intégration opérationnelle dans les systèmes de sélection. De même, le capteur développé dans le cadre du projet Agrosensor n'a pas pu être évalué pendant la durée du projet. Ces différents axes constituent néanmoins des pistes particulièrement intéressantes pour les développements futurs.

Une autre limite concerne l'intégration encore partielle de certains caractères d'intérêt économique dans les objectifs de sélection. Si le projet a permis de construire un index intégratif prenant en compte croissance, qualité de carcasse, efficacité alimentaire et odeur de verrat, l'étude approfondie des relations avec les caractères de reproduction, de fertilité ou de prolificité reste à poursuivre. Les données accumulées dans le cadre du projet ouvrent cependant la possibilité de développer à moyen terme un index de sélection plus holistique intégrant l'ensemble des dimensions économiques et fonctionnelles de l'élevage porcin.

D'un point de vue filière, les résultats obtenus renforcent la crédibilité de la sélection génétique comme solution durable de réduction du risque d'odeur de verrat dans les systèmes de production de mâles entiers. Dans un contexte où les attentes sociétales relatives au bien-être animal sont croissantes, tout en maintenant les impératifs de compétitivité économique des exploitations, la génétique apparaît comme un levier particulièrement pertinent car elle permet de générer des progrès permanents et cumulables à l'échelle de la population.

En conclusion, le projet NoWallOdor a démontré qu'une sélection génomique contre l'odeur de verrat est désormais scientifiquement fondée, techniquement réalisable et compatible avec les objectifs actuels de la sélection du Piétrain Wallon. Les données, outils et méthodes développés constituent une base solide pour l'intégration de ce caractère dans les évaluations génétiques de routine. Ils offrent également des perspectives importantes pour le développement futur d'approches de sélection plus holistiques conciliant réduction de l'odeur de verrat, performances de production, efficacité alimentaire, qualité des produits, reproduction et durabilité des systèmes d'élevage.

3. Liste des livrables du projet acquis pendant la recherche

- Délivrable primaire et "tangibile" du P2 :
 - o Inclusion d'estimations de valeurs d'élevage génomiques "faible risque d'odeur" dans la liste des informations transmises (cf. <https://www.awep.eu/spip.php?rubrique22>) pour les verrats Belgian Piétrain
 - o Indicateurs de précision permettant aux éleveurs d'apprécier la fiabilité des index
 - o Index de sélection intégratif traduisant des objectifs de sélection durables décrivant une orientation holistique de la race Piétrain en Wallonie
- Délivrables secondaires :
 - o Méthode de phénotypage
 - o Base de données
 - o Modélisation
 - o Validation d'outils
 - o Autres avancées, en soutien au livrable primaire

4. Vulgarisation

Elevéo a communiqué les avancées du projet aux différents stades aux sélectionneurs par mails et réunions distancielles/présentielles.

Les avancées NoWallOdor ont été présentées au cours des commissions Piétrain aux dates suivantes :

- Mardi 27 juin 2023
- Mardi 18 juin 2024
- Mardi 22 juillet 2025

Plusieurs articles ont été publiés dans Wallonie Elevage

- Février 2024 : « Le verrat Piétrain Belge sans odeur, où en est-on ? » par le CRA-W, le Collège des Producteurs et Elevéo (M. Delhaye)
- Février 2025 : « Piétrain Wallon : De nouvelles perspectives de sélection via la génomique » par A. Markey et N. Gengler

Articles sur le site du CRA-W

- 20 octobre 2023 : « Evaluation génétique wallonne en croisement des verrats de race Piétrain » par J. Wavreille <https://www.cra.wallonie.be/fr/evaluation-genetique-wallonne-en-croisement-des-verrats-de-race-pietrain>
- 5 décembre 2024 : « Une sélection pour éviter l'odeur de verrat ! » par J. Wavreille <https://www.cra.wallonie.be/fr/une-selection-pour-eviter-lodeur-de-verrat>

Assemblées Sectorielles

- 21 novembre 2023 : « Etat des lieux des recherches menées dans le secteur porcin et la manière dont ces recherches donnent des réponses aux enjeux des producteurs » par J. Wavreille
- 14 novembre 2024 : « Etat d'avancement NoWallodor » par A. Markey

Journée au sujet de la castration organisée par le CRA-W (21/12/2022) dans le cadre du projet européen PPILOW (bien-être des volailles et des porcs en systèmes biologiques et plein air)

Autres présentations

- Une présentation aux producteurs et éleveurs belges et scientifiques présents a été réalisée en collaboration avec le CRA-W qui organisait dans le cadre du projet PPILOW une journée sur le bien-être animal ; cf. <https://miniurl.be/r-4cl5>. « Recherches et applications de la génétique en porcs en Wallonie L'enjeu du bien-être vis-à-vis de l'arrêt de la castration » par A. Markey
- Présentation poster au TERRA INNOVATION DAY 2023 à Gembloux au personnel scientifique : « Boar taint: using genetics to improve selection modelling through phenotyping innovations » A. Markey, J. Wavreille, P. Mayeres, A.-C. Huet, N. Gengler
- Présentation d'un poster à la foire agricole de Battice les 2 et 3 septembre 2023 par le CRA-W.
- Le projet NoWallOdor a été présenté lors de la demi-journée « Food Speakers' Corner » organisée par FoodWal à des chercheurs (31/03/2025).

5. Brevets - Publications

Les communications scientifiques suivantes ont eu lieu dans le cadre de congrès/conférences :

- Présentation au WCGALP 2022 (Rotterdam, Pays-Bas) : "Phenotyping strategies for an efficient and holistic approach to reduced boar taint through genomic selection" A. Markey, C. Burgeon, N. Gengler. <https://hdl.handle.net/2268/298378>
- Poster à SEP23 2023 (Paris, France) : "Identification of a volatile organic compound profile for boar taint detection in fat samples by headspace-GC×GC-TOFMS" A. Rodrigues, T. Massenet, L. M. Dubois, A.-C. Huet, A. Markey, J. Wavreille, N. Gengler, P.-H. Stefanuto, J.-F. Focant. <https://hdl.handle.net/2268/302939>
- Poster au WASAS-ASAS-CSAS 2023 Annual Meeting (Albuquerque, Etats-Unis) : "PSVI-5 Optimizing Limited Deep Phenotyping Capacity for Genetic Studies and Routine Genetic Evaluations: Application to Boar Taint." A. Markey, J. Wavreille, P. Mayeres, A.-C. Huet, N. Gengler. doi:10.1093/jas/skad281.482. <https://hdl.handle.net/2268/342080>
- Poster à l'EAAP 2023 Annual Meeting (Lyon, France) : "Innovative strategy using phenotypes and genetics to optimize partial sampling applied to boar taint" A. Markey, J. Wavreille, P. Mayeres, A.-C. Huet, D. Duarte, N. Gengler.
- Présentation aux Journées de la Recherche Porcine 2024 (Saint-Malo, France). « Etude génétique de l'utilisation d'un panel de nez humains comme phénotypes afin de discriminer l'odeur de verrat » A. Markey, C. Große-Brinkhaus, D. Mörlein, E. Tholen, N. Gengler. <https://hdl.handle.net/2268/343129>
- Présentation au ASAS-CSAS-WSASAS Annual Meeting : « 309 Synergistic optimization: Utilizing genomic insights to enhance strategies for joint selective (deep) phenotyping and recursive creation of genomic reference populations - Sponsored by EAAP. » N. Gengler, A. Markey, P. Lemal, Y. Chen, H. Wilmot, M. Schroyen. J Anim Sci. 2024 Sep 13;102(Suppl 3):52–3. doi:10.1093/jas/skae234.057. <https://hdl.handle.net/2268/333470>
- Présentation à l'EAAP 2024 (Florence, Italie) : « Characterization of the relationship between olfactory perception and quantified compounds as phenotypes for genetic selection against boar taint using a recursive model » A. Markey, C. Große-Brinkhaus, D. Mörlein, E. Tholen, N. Gengler.
- Poster à Eurosense 2024 (Dublin, Irlande) : « P1.065 – Food quality improvement by breeding based on sensory phenotyping » A. Markey, C. Große-Brinkhaus, D. Mörlein, E. Tholen, N. Gengler.
- Présentation à la GSA de la DGfZ 2025 : « Presenting the Walloon genomic evaluation system for Piétrain based on Piétrain x Landrace crossbred pigs: Past, present, future » A. Markey, N. Gengler.
- Poster à SEP25 2025 (Paris, France) : « Développement et validation d'un modèle statistique pour la détection de l'odeur de verrat dans la graisse porcine » D. Bensaada, A. Rodrigues, T. Massenet, L. Dubois, A.-C. Huet, A. Markey, J. Wavreille, N. Gengler, P.-H. Stefanuto, J.-F. Focant. <https://hdl.handle.net/2268/331311>
- Présentation à l'EAAP 2025 (Innsbruck, Autriche) : « New boar taint phenotypes for selection against boar taint » A. Markey, A. Rodrigues, P.-H. Stefanuto, J.-F. Focant, A.-C. Huet, J. Wavreille, K. Wijnrocx, N. Gengler.
- Présentation à la GSA de la DGfZ 2026 : « A Deregression-Based Approach to Integrate Multitrait Information into a Single Pooled Phenotype for Genetic Evaluation » N. Gengler, A. Markey.

- Poster à 21st GC×GC Symposium and 44th ISCC 2026 (Riva Del Garda, Italie) : « Quick sniff into boar taint using integrated volatilomic and metabolomic with GC×GC-MS » D. Bensaada, A. Rodrigues, E. Pir, A. Markey, J. Wavreille, N. Gengler, P.-H. Stefanuto, J.-F. Focant. <https://hdl.handle.net/2268/346567>
- Présentation à l'EAAP 2026 « Methodological approach for multi-trait information pooling into single-trait using deregression: a study case on boar taint » A. Markey, N. Gengler
- Présentation à l'EAAP 2026 « Extending Single-Step Genomic Evaluations to Phenomics and Intermediate Omics: A Conceptual and Methodological Perspective » N. Gengler, A. Genin, A. Markey
- Poster à l'EAAP 2026 « Preserving genetic diversity in the local Belgian Piétrain pig populations » K. Wijnrocx, H. Wilmot, A. Markey, D. Duarte, P. Mayeres, N. Gengler

Articles scientifiques publiés :

- Bhatt, K., Dejong, T., Dubois, L., Markey, A., Gengler, N., Wavreille, J., Stefanuto, P.-H., & Focant, J.-F. (15 November 2022). Lipid Serum Profiling of Boar-Tainted and Untainted Pigs Using GC×GC–TOFMS: An Exploratory Study. *Metabolites*, 12 (11), 1111. doi:10.3390/metabo12111111
- Rodrigues, A.* , Massenet, T.* , Dubois, L., Huet, A.-C., Markey, A., Wavreille, J., Gengler, N., Stefanuto, P.-H., & Focant, J.-F. (2024). Development and validation of a classification model for boar taint detection in pork fat samples. *Food Chemistry*, 138572. doi:10.1016/j.foodchem.2024.138572
- Markey, A., Rodrigues, A., Stefanuto, P.-H., Focant, J.-F., Huet, A.-C., Wavreille, J., Wijnrocx, K., & Gengler, N. (2025). Exploratory study of the potential use of a novel pooled phenotype to select against boar taint. *Livestock Science*, 302, 105844. doi:10.1016/j.livsci.2025.105844
- Dimandja, J. M. D., Archer, J. C., Bakota, E. L., Bruce, J. D., Casanova, J. A., Posenecker, E. A., Rodrigues, A., Bensaada, D., Stefanuto, P.-H., Focant, J.-F., Struk, D. R., Ilhamsyah, R., Hesketh, P. J., Kelly, C. N., Binkley, J. E., Purcaro, G., Gorska, A., Eggermont, D., Vaccaro, M., Cardinael, P., & Heist, C. A., 2026. Selectivity comparisons of comprehensive two-dimensional gas chromatography systems through the use of a standardized synthetic mixture. *Journal of Chromatography Open*, 100345. doi: 10.1016/j.jcoa.2026.100345

Articles scientifiques soumis à publication :

- « A deregression-based approach to integrate multitrait information into a single pooled phenotype for genetic evaluation » Markey, A.*, Gengler, N.* (Révision majeure au journal *Genetics Selection Evolution*)
- « Preliminary genetic investigations of Raman spectroscopy-based boar taint prediction in Piétrain×Landrace crossbred pigs » Markey, A.*, Genin, A.*, Lemal, P., Duarte, D., Wijnrocx, K., Huet, A.-C., Wavreille, J., Arnould, Q., Delhotte D., Baeten V., Fernández Pierna J. A., Gengler N. (Révision majeure au journal *Animal*)

Articles scientifiques en cours de rédaction :

- « Integration of a pooled boar taint reference trait in the Walloon carcass quality genetic evaluation » Markey, A., Wijnrocx, K., Duarte, D., Chen, Y., Huet, A.-C., Wavreille, J., Focant, J.-F., Gengler, N.
- “Optimizing limited deep phenotyping capacity for genetic studies and routine genetic evaluations: application to boar taint” Gengler, N.*, Markey, A.*, Wavreille, Duarte, D., J., Wijnrocx, K.
- “Innovative strategy using phenotypes and genetics to optimize partial sampling applied to boar taint.” Markey, A., Wijnrocx, K., Duarte, D., Huet, A.-C., Wavreille, J., Mayeres, P., Gengler, N.
- “Quantification of *Olsenella*, *Catenibacterium*, *Clostridium* and *Parabacteroides* in the microbiota by digital PCR: correlation with plasmatic skatole and androstenone levels.”

6. Perspectives de valorisation

6.1 Perspectives de valorisation court terme (1 à 2 ans)

Les connaissances acquises et les évaluations génomiques développées dans le projet permettent l'intégration opérationnelle du risque d'odeur de verrat dans les programmes de sélection du Piétrain Wallon. Les premières valeurs génétiques génomiques et les indicateurs de risque produits dans le cadre du projet fournissent déjà aux organismes de sélection et aux éleveurs de nouvelles informations pour orienter leurs choix de reproducteurs et favoriser la diffusion de génétiques à faible risque d'odeur.

Les résultats du projet ouvrent également la voie à la finalisation, dans une démarche de co-construction avec les éleveurs et les organismes de sélection, d'un index intégratif combinant réduction du risque d'odeur de verrat, performances de croissance, qualité de carcasse et efficacité alimentaire. Cet index constituera un nouvel outil d'aide à la décision directement utilisable dans les schémas de sélection.

Par ailleurs, plusieurs éléments méthodologiques développés dans le projet pourront être valorisés rapidement au bénéfice de la filière. Il s'agit notamment des procédures de collecte et de contrôle qualité des données, des méthodes de phénotypage, de la stratégie d'échantillonnage basée sur les valeurs génétiques et des routines de traitement génomique. Ces développements constituent un ensemble de bonnes pratiques transférables à d'autres programmes de sélection et de recherche.

6.2 Perspectives de valorisation à moyen terme (3 à 5 ans)

L'index intégratif développé dans le cadre du projet constitue une première étape vers la mise en place d'un objectif de sélection plus global pour la race Piétrain en Wallonie. L'évolution vers un index véritablement holistique nécessitera l'intégration progressive d'autres caractères d'importance économique et fonctionnelle, notamment ceux liés à la reproduction, à la fertilité, à la prolificité ou encore à la robustesse des animaux. Une telle approche permettra de garantir un progrès génétique équilibré conciliant performances de production, qualité des produits, bien-être animal et durabilité des systèmes d'élevage. La valorisation des données de reproduction déjà disponibles ainsi que leur intégration dans des évaluations génomiques adaptées constitueront une étape importante de ce développement.

Les approches innovantes explorées dans le projet, notamment la spectroscopie Raman, les biomarqueurs volatilomiques, les approches microbiotiques et les stratégies multi-omiques, présentent également un potentiel important pour le développement de nouvelles méthodes de phénotypage à haut débit. Dans un premier temps, ces outils devraient trouver leur place dans un contexte de laboratoire ou d'appui aux programmes de sélection avant d'envisager des applications plus larges.

La base de données multi-omique et génomique constituée au cours du projet représente par ailleurs une ressource unique pour la Wallonie. Son intérêt dépasse largement le seul cadre de l'odeur de verrat et ouvre des perspectives pour des travaux portant sur la diversité génétique, la phénomique, l'intégration de nouvelles données omiques, la gestion de populations de référence ou encore le développement de nouvelles évaluations génétiques. Cette ressource favorisera également le développement de collaborations scientifiques régionales, nationales et internationales.

Les connaissances acquises et les méthodologies développées dans NoWallOdor pourront ainsi être valorisées dans de futurs projets européens et internationaux portant sur la production de mâles entiers, l'amélioration génétique porcine et le développement de nouvelles stratégies de sélection génomique.

6.3 Perspectives de valorisation à long terme

À plus long terme, les acquis du projet contribuent à soutenir le développement de systèmes de production reposant davantage sur l'élevage de mâles entiers. La réduction génétique du risque d'odeur de verrat constitue en effet un levier important permettant de concilier bien-être animal, acceptabilité sociétale et performances technico-économiques des élevages.

Les résultats obtenus, notamment dans les domaines de la spectroscopie, de la volatilomique et de l'identification de biomarqueurs, pourront également contribuer au développement futur d'outils rapides de contrôle ou de détection de l'odeur de verrat. Combinés aux avancées issues d'autres initiatives telles qu'Agrosensor, ils pourraient à terme alimenter la mise au point de solutions automatisées applicables dans les chaînes d'abattage.

Enfin, la poursuite de la valorisation des acquis du projet bénéficiera du maintien d'un environnement favorable permettant d'assurer la continuité des activités de recherche, de validation, d'innovation et de transfert vers la filière porcine wallonne. Les données, méthodes et outils développés dans NoWallOdor constituent en effet des acquis structurants dont les retombées pourront se prolonger bien au-delà de la durée du projet.

7. Problèmes rencontrés et actions correctives éventuellement prises

Des retards à l'engraissement ont eu lieu suite à la fermeture de la station d'engraissement Cerexhe-Heuseux et des travaux ont été nécessaires pour le transfert total de l'engraissement au CRA-W. Des dispositions ont été prises au CRA-W y compris l'installation de 6 Selffeeder DNA® a permis d'enregistrer les ingestions individuelles. Le nombre de mâles entiers livré a pu être maintenu.

La banque d'échantillon constituée est précieuse. Suite à une perte partielle (mais réversible) des identifications, des précautions pour garantir l'identification des échantillons ont été prises pour garantir leur utilisation *a posteriori*.

L'indisponibilité du capteur Agrosensor n'a pas permis de l'utiliser dans le projet. L'approche d'évaluation génétique de l'odeur de verrat développée garantit son utilisation ultérieure, une fois l'outil validé.

La spectroscopie a donné des résultats prometteurs. Des analyses *a posteriori* seront menées.

À plusieurs reprises, l'opérateur effectuant le nez laboratoire était indisponible. La mobilisation d'un nouvel agent a été effectuée afin de réévaluer les gras depuis le début. L'agent initial étant revenu, seules quelques bandes ont été mesurées plusieurs fois.

Le budget initial prévu pour les analyses chimiques était limité. Plusieurs recherches de fonds supplémentaires n'ont malheureusement pas abouti. En revanche, une stratégie de sélection des échantillons a été développée (downsampling génétique) et s'est révélée suffisamment performant pour générer *a posteriori* un échantillonnage informatif. De plus, cette stratégie a d'autres potentielles applications la rendant attractive.

Pour les analyses du microbiote, l'analyse par qPCR s'est avérée trop variable, ne permettant pas le développement d'un test rapide. La méthode par dPCR s'est finalement avérée plus stable permettant de quantifier l'abondance des bactéries. Des approches multi-omiques ont été développées pour traiter l'information multi-sourcée et intégrer les biomarqueurs robustes.

Les changements de puce SNP ont nécessité d'imputer des SNP manquants et de développer une routine pour le traitement et l'imputation des génotypes.

Dans les systèmes d'évaluation génétique, des données manquaient pour certains caractères. Les flux de données ont été améliorés par une communication efficace entre partenaires. Des routines de préparation ont été développées pour identifier les problèmes, les reporter aux partenaires et garantir la qualité des évaluations.

Le projet a fait face à un ralentissement suite à des réorganisations des attributions sur le projet. L'extension du projet a été essentielle pour finaliser les analyses complexes, stabiliser les pipelines génétiques, valider les outils de phénotypage et garantir la qualité scientifique des résultats.