

Projet Blé Dur

**Evaluation des impacts environnementaux de la production
et la transformation de blé dur au moyen de l'Analyse du
Cycle de Vie (ACV), en comparaison d'autres cultures
concurrentes**

Florence VAN STAPPEN
Unité Agriculture et durabilité
Centre wallon de Recherches agronomiques

Liste des abréviations

ACI	Potentiel d'acidification
ACV	Analyse du Cycle de Vie
CLI	Potentiel de réchauffement global
EAU	Potentiel de privation en eau
EICV	Évaluation des Impacts du Cycle de Vie
ETX	Ecotoxicité
EUT	Potentiel d'eutrophisation
HTX	Toxicité humaine
ICV	Inventaire du Cycle de Vie
MF	Matière fraîche
NRJ	Consommation de ressources énergétiques
OCC	Occupation des terres agricoles
PAF	Particules fines
PPP	Produits de protection des plantes
RES	Consommation de ressources métaux et minerais
ScU	Score unique
UF	Unité fonctionnelle

Table des matières

1.	Objet	4
2.	Méthodologie	4
2.1.	La méthode ACV	4
2.2.	Objectif et champ d'application de l'étude	5
2.3.	Collecte de données d'inventaire du cycle de vie (ICV) pour la production et la transformation de blé dur, blé tendre et orge brassicole.....	6
2.4.	EICV et l'identification des 'hotspots'	7
3.	Résultats et discussion	9
3.1.	Résultats EICV et comparaison entre systèmes étudiés	9
3.2.	Comparaison des données spécifiques avec une base de données génériques.....	12
3.3.	Contribution des différentes étapes de production à l'impact total	13
3.4.	Poids de l'étape de production agricole à l'échelle de la filière.....	15
4.	Pistes d'amélioration.....	17
5.	Conclusions.....	17
6.	References	18

Liste des tableaux

Tableau 1 – Caractéristiques des itinéraires étudiés	6
Tableau 2 – Catégories d'impact sélectionnées, unités des indicateurs et méthode de référence utilisée pour l'EICV	8

Liste des figures

Figure 1 – Limites du système étudié pour la production agricole de grains de blé dur, blé tendre ou orge brassicole.....	5
Figure 2 – Contribution des catégories d'impact au score unique	11
Figure 3 – Comparaison des résultats pour 1kg de matière fraîche, exprimés selon le score unique .	11
Figure 4 - Comparaison des résultats pour 1 hectare, exprimés selon le score unique	12
Figure 5 – Comparaison des données spécifiques versus génériques pour la production d'1 kg de blé dur	13
Figure 6 – Contribution des étapes de production aux impacts totaux de la production de blé dur ...	13
Figure 7 - Contribution des étapes de production aux impacts totaux (score unique) de la production des céréales comparées	14
Figure 8 – Impacts de la production, transformation, transport, conservation et cuisson d'1 MJ fourni par des pâtes issues de blé dur et du pain issu de blé panifiable	16
Figure 9 - Impacts de la production, transformation, transport, conservation et cuisson d'1 MJ fourni par des pâtes issues de blé dur, du pain issu de blé panifiable, de la bière à partir d'orge brassicole ou des frites de pommes de terre	16

1. Objet

Les impacts environnementaux de la **production agricole** de blé dur conventionnel et bio ont été comparés à la culture de blé tendre panifiable et d'orge brassicole au moyen de la méthode d'Analyse du Cycle de Vie (ACV).

Les données de l'étape de production agricole sont fournies par l'unité Productions végétales (U4) du CRA-W. Les itinéraires phytotechniques étudiés sont issus de différents essais suivis par le CRA-W sur plusieurs années :

- Blé dur : essais à Acosse (2020-2024), rendement moyen des variétés testées chaque année, phytotechnie moyenne sur base de la moyenne pondérée des rendements annuels
- Blé tendre panifiable : essais à Acosse (2022-2024), variété Christoph, phytotechnie identique au blé dur
- Orge brassicole : essais de Lonzée (2023-2025), orge à 6 rangs et 2 rangs (variété Salamandre), 0-1-2 traitements fongicides
- Blé dur bio : essais sur trois sites différents chaque année (2023-2025)

En aval de l'étape de production agricole, la prise en compte des étapes ultérieures de **transformation** des différentes cultures en **aliments prêts à être consommés** permet de comparer leurs impacts environnementaux en termes d'apports alimentaires à une régime donné.

2. Méthodologie

Cette étude suit les lignes directrices et les exigences des normes ISO 14040 et 14044 relatives aux Analyses du Cycle de Vie (ACV) (ISO 2006a,b).

2.1. La méthode ACV

Le concept de l'ACV est la « compilation et l'évaluation des intrants et des extrants et des impacts environnementaux potentiels d'un système de produits tout au long de son cycle de vie » (ISO 2006a,b).

Une ACV peut être réalisée avec deux objectifs complémentaires : soit elle permet de comparer des produits en fonction de leurs impacts, soit elle vise à identifier, tout au long du cycle de production et d'utilisation d'un produit, les possibilités d'amélioration liées à l'impact à minimiser (ISO 2006a).

Une ACV est une approche itérative, transparente, complète et scientifique qui se compose de quatre phases (ISO 2006a), qui sont consécutives mais interdépendantes :

1. La phase de définition des *objectifs et du champ d'application*, y compris les limites du système et le niveau de détail, dépend du sujet et de l'utilisation prévue de l'étude ;
2. La phase d'analyse de l'*inventaire du cycle de vie (ICV)* implique la collecte des données d'entrée et de sortie nécessaires pour atteindre les objectifs de l'étude en ce qui concerne le système étudié. Tous les intrants et extrants de l'ACV sont liés à une *unité fonctionnelle* qui est la performance quantifiée d'un système de produits à utiliser comme unité de référence ;
3. La phase d'*évaluation de l'impact du cycle de vie (EICV)* transforme les résultats de l'ICV d'un système de produits en mesures des impacts environnementaux. Elle attribue les résultats de l'ICV à une ou plusieurs catégories d'impact, par exemple les émissions de méthane (CH₄) contribuent au réchauffement climatique (classification), et calcule les indicateurs d'impact en multipliant chaque résultat de l'ICV par un facteur de caractérisation, par exemple 1 kg de CH₄ équivaut à 28 kg de CO₂eq (caractérisation) ;
4. La phase d'*interprétation* résume les résultats sous forme de conclusions, de recommandations et de prise de décision conformément à l'objectif et à la définition du champ d'application.

2.2. Objectif et champ d'application de l'étude

Compte tenu de l'importance de l'étape de la production végétale dans les ACV des produits agricoles, cette étude s'articule autour du **système agricole de production de blé dur**, comme le font de nombreuses études agroalimentaires (Morais et al. 2016).

L'objectif de l'étude est, premièrement, de comparer la **production agricole de blé dur conventionnel** avec la production de **blé tendre panifiable** et d'**orge brassicole**, d'une part, ainsi qu'avec la production de **blé dur bio**, d'autre part.

Dans une seconde partie, les phases ultérieures de stockage, transformation et commercialisation sont ensuite ajoutées afin d'évaluer **la chaîne de transformation complète**, depuis la production agricole jusqu'à l'assiette du consommateur, illustrant le poids de chacune de ces étapes et comparant l'apport calorifique de pâtes de blé dur, de pain de blé tendre, de bière à partir d'orge brassicole et de frites de pommes de terre, cuisinés et prêts à être consommés.

L'étape de production agricole commence par la préparation du sol et se termine par le transfert des produits récoltés vers le lieu de stockage (Figure 1). Les impacts de la production d'engrais organiques sont entièrement attribués à l'élevage ; seuls leur transport, leur éventuelle transformation (séchage, pelletisation) et leur utilisation comme engrais sont attribués à la production végétale (Nemecek et Kägi 2007, Koch et Salou 2013).

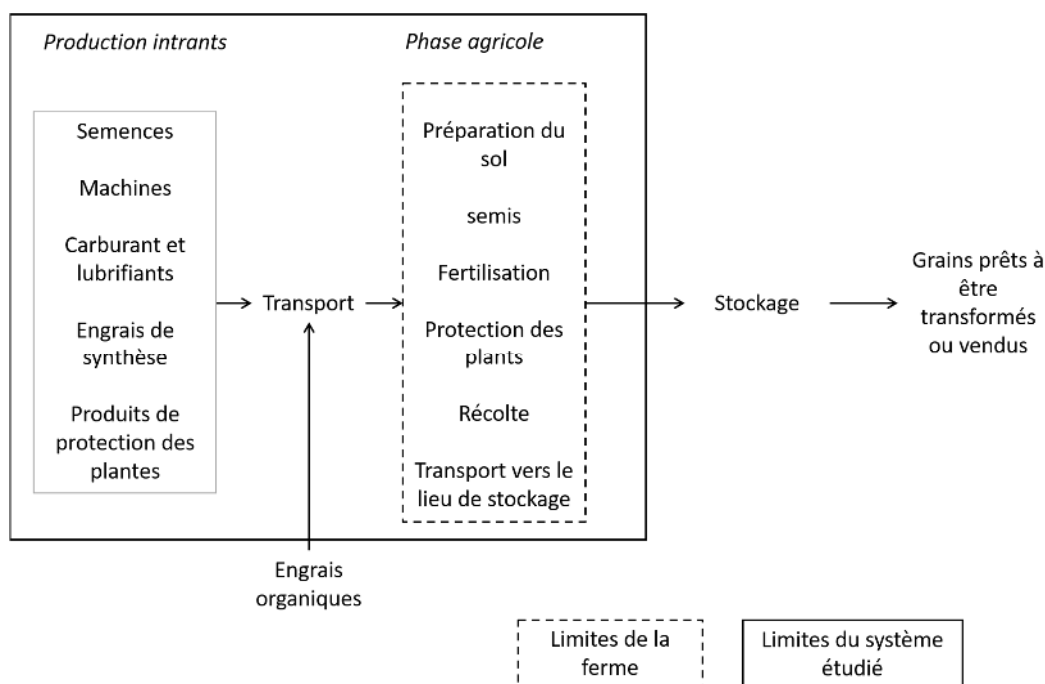


Figure 1 – Limites du système étudié pour la production agricole de grains de blé dur, blé tendre ou orge brassicole

L'**unité fonctionnelle** (UF) est 1 kg de matière fraîche (MF) de céréales à la sortie du champ. Outre cette UF liée au produit, une UF alternative est également explorée afin de refléter le rôle multifonctionnel de l'agriculture (Nemecek et al. 2011) : une UF liée à la superficie (1 ha de céréales).

2.3. Collecte de données d'inventaire du cycle de vie (ICV) pour la production et la transformation de blé dur, blé tendre et orge brassicole

Les données relatives aux pratiques culturales (quantités, types et dates de fertilisants minéraux, quantités et substances actives des traitements phytosanitaires, nombre de traitements, types de machines et puissance, dates de plantation et de récolte, distances de transport et véhicules) ont été fournies par l'U4 du CRA-W (voir Tableau 1).

Les données relatives à la consommation de carburant, au temps de travail, au poids, à la puissance moyenne et à la durée de vie des machines sont extraites à l'aide du logiciel Mecacost, un outil de calcul pour les opérations agricoles spécifique à la Wallonie (Rabier et al. 2008). Les facteurs d'émissions pour la combustion du diesel et l'abrasion des pneus proviennent d'ecoinvent v3.6 (Nemecek et Kägi 2007). La consommation d'eau pour l'application des produits de protection des plantes (PPP) (remplissage du réservoir, rinçage et nettoyage) est incluse.

Même si aucun engrais organique (fumure de fond) n'a été appliqué sur les essais comparés dans la présente étude, la céréale bénéficie des nutriments provenant des engrais organiques apportés en tête de rotation. Les émissions liées à la présence de ces matières organiques durant la culture n'ont cependant pas été prises en compte par manque de données disponibles. Seules les émissions liées à la fabrication et l'application des engrais directement appliqués sur les cultures étudiées ont été considérées.

Tableau 1 – Caractéristiques des itinéraires étudiés

			Blé dur	Blé tendre	Orge brassicole	Blé dur bio
Rendement MF	kgMF/ha	2020	8890	-	-	-
		2021	9156	-	-	-
		2022	10071	11047	-	-
		2023	9811	9064	10808	7541
		2024	5539	7099	6436	4356
		2025	-	-	9816	8216
Fertilisation	kg N/ha	2020	173	-	-	-
		2021	185	-	-	-
		2022	149	149	-	-
		2023	173	173	140	70 *
		2024	211	211	140	100 *
		2025	-	-	135	90 *
	Nombre de passages	2020	3	-	-	-
		2021	3	-	-	-
		2022	3	3	-	-
		2023	4	2	2	1
		2024	5	3	2	1-2
		2025	-	-	3	1-2
Protection des plantes	kg s.a./ha	2020	2.12	-	-	-
		2021	1.18	-	-	-
		2022	2.58	2.58	-	-
		2023	1.98	1.98	1.75-2.25	0
		2024	2.23	2.23	0.21-0.71	0
		2025	-	-	0.46-0.88	0

	Nombre de passages	2020	4	-	-	-
		2021	3	-	-	-
		2022	5	5	-	-
		2023	4	4	2-4	0-4 °
		2024	4	4	3-5	2-6 °
		2025	-	-	2-4	1-3 °

* Azote organique ; ° désherbage mécanique; s.a.: substances actives

Comme le recommande Nemecek (2013), les émissions au champ dues à l'application d'intrants (engrais, pesticides, semences) pendant la culture sont évaluées à l'aide des modèles d'émissions suivants. Les émissions d'ammoniac (NH_3) dans l'air sont calculées en fonction de la teneur en azote des engrais et à l'aide de facteurs d'émissions des modèles européens de niveau 2 spécifiques développés par l'EMEP/EEA (2013b, a). Les émissions de nitrate (NO_3^-) vers les eaux souterraines sont basées sur le modèle suisse SALCA-Nitrat, développé par Richner et al. (2014) et adaptées aux conditions locales en termes de durée de culture, de date d'application, de potentiel de minéralisation de l'azote dans les sols, d'absorption de l'azote par la végétation et de risque de lixiviation de l'azote en fonction de la culture. Les émissions d'oxyde d'azote (NO_x) dans l'air sont calculées à l'aide du modèle de niveau 1 de l'EMEP/EEA (EMEP/EEA 2013b) (modèles européens). Le protoxyde d'azote (N_2O) est estimé à l'aide des lignes directrices de niveau 1 du GIEC (GIEC 2006) (modèle global). Les émissions de phosphore (P) vers les rivières et d'ions phosphate (PO_4^{3-}) vers les rivières et les eaux souterraines sont basées sur le modèle suisse SALCA-Phosphor développé par Prasuhn (2006). Les émissions d'éléments traces métalliques (métaux lourds), à savoir le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le plomb (Pb), le mercure (Hg), le nickel (Ni) et le zinc (Zn), vers les rivières, les eaux souterraines et les sols agricoles sont calculées à l'aide du modèle suisse SALCA-Schwermetall développé par Freiermuth (2006) et adapté aux conditions locales en ce qui concerne la teneur en éléments traces métalliques des engrais minéraux et organiques (Piazzalunga et al. 2012), du sol (Sonnet et al. 2003) et de la déposition annuelle (Koch and Salou 2013).

Bien qu'il s'agisse d'une simplification, on estime que les produits de protection des plantes appliqués aux cultures sont émis en totalité vers les sols agricoles, comme c'est le cas dans les bases de données ACV telles que ecoinvent (Nemecek et Kägi 2007). Une modélisation plus fine voudrait qu'une partie soit cependant dégradée et une autre émise vers l'air et l'eau.

Les opérations de transport comprennent le transfert des intrants (engrais, semences et pesticides) du fabricant au grossiste en utilisant les estimations d'ecoinvent v3.6 (PRé 2024, Nemecek et Kägi 2007), puis du grossiste à la ferme ou au champ (22 km).

2.4. EICV et l'identification des 'hotspots'

L'évaluation de l'impact du cycle de vie (EICV) est soutenue par une méthode composite développée par la Commission européenne (Andreasi Bassi et al. 2023, Fazio et al. 2018, Crenna et al. 2019, Sala et al. 2018), en se focalisant sur les catégories d'impact pertinentes pour les produits agricoles (Guinée et al. 2002). Le logiciel d'ACV utilisé est SimaPro 10.2.0.2 (PRé 2025).

Les catégories d'impact sélectionnées, les unités d'indicateur correspondantes et la méthode de référence utilisée sont énumérées dans le Tableau 2.

En outre, afin de faciliter la communication des résultats, une méthode de normalisation et de pondération des catégories d'impact est ajoutée, agrégeant les impacts en un *score unique* (Sala et al. 2018).

Tableau 2 – Catégories d'impact sélectionnées, unités des indicateurs et méthode de référence utilisée pour l'EICV

Abréviation	Catégorie d'impact	Unité de l'indicateur	Méthode de référence
CLI	Potentiel de <i>réchauffement global</i> sur une période de 100 ans	kg CO ₂ eq.	(IPCC 2019)
ACI	Potentiel d' <i>acidification</i> terrestre et eau douce, en fonction du pays, basé sur les dépassements cumulés (Accumulated Exceedance, AE)	mol H ⁺ eq.	(Posch et al. 2008)
EUT	Potentiel d' <i>eutrophisation</i>	kg PO ₄ ³⁻ eq.	CML-IA baseline v4.2 (Guinée et al. 2002)
PAF	<i>Particules fines</i>	Disease inc. (incidence de maladies due à l'émission de PM2.5)	(Rabl and Spadaro 2004)
HTX	Potentiel de <i>toxicité humaine</i>	CTUh (Comparative Toxic Units)	USEtox (Rosenbaum et al. 2008)
ETX	Potentiel d' <i>écotoxicité</i> des eaux douces	CTUe (Comparative Toxic Units)	USEtox (Rosenbaum et al. 2008)
OCC	<i>Occupation de terres agricoles</i>	m ² a (m ² .an)	ReCiPe v1.11 (Goedkoop et al. 2009)
EAU	Potentiel de privation en <i>eau</i>	m ³ depriv.	AWARE (Boulay et al. 2018)
NRJ	Consommation des <i>ressources abiotiques énergétiques</i>	MJ	(Frischknecht et al. 2007)
RES	Consommation des <i>ressources abiotiques, métaux et minéraux</i>	kg Sb eq.	(van Oers et al. 2020)
ScU	Score unique	Pt (points)	(Sala et al. 2018)

Les résultats d'EICV sont analysés plus en détail en tenant compte de la contribution des étapes suivantes à la production des céréales étudiées :

1. Production des semences, transport compris
2. Production d'engrais chimiques, transport compris
3. Production des PPP, transport compris
4. Mécanisation, y compris la fabrication et l'entretien des machines et des tracteurs, la production de diesel, les émissions dues à la consommation de carburant, les émissions dues à l'abrasion des pneus, les hangars
5. Emissions au champ dues à l'application d'engrais de synthèse (minéraux ou organiques)
6. Émissions au champ hors utilisation des engrais, comprenant :
 - les émissions transmises par le sol (CO₂ et N₂O)
 - les pertes d'éléments nutritifs et de sédiments dues à l'érosion du sol provoquée par le ruissellement de l'eau
 - les importations d'éléments nutritifs et de métaux lourds à partir des semences et les exportations dans les parties récoltées
 - l'effet de la durée des cultures sur l'occupation des sols
7. Émissions dues à l'application de PPP dans les champs

3. Résultats et discussion

3.1. Résultats EICV et comparaison entre systèmes étudiés

Les résultats de l'EICV par kgMF et par ha pour les différentes céréales comparées sont chiffrés dans les Tableau 3 et Tableau 4.

Tableau 3 – Résultats de l'EICV pour l'étape de production agricole, pour chaque catégorie d'impact, pour l'unité fonctionnelle par kgFM

/kgMF	Catégorie d'impact	CLI	ACI	EUT	PAF	HTX	ETX	OCC	EAU	NRJ	RES	ScU
	Unité	kg CO ₂ eq.	mol H ⁺ eq.	kg PO ₄ ³⁻ eq.	Disease inc.	CTUh	CTUe	m ² a	m ³ depriv.	MJ	kg Sb eq.	μPt
Blé dur	2020	0.346	3.91E-03	1.20E-03	2.40E-08	1.05E-08	3.01	0.962	0.0617	1.773	1.44E-06	40.07
	2021	0.353	3.99E-03	1.19E-03	2.45E-08	1.01E-08	16.19	0.933	0.0623	1.784	1.46E-06	44.71
	2022	0.279	3.79E-03	1.00E-03	2.38E-08	8.32E-09	17.40	0.848	0.0581	1.474	1.22E-06	39.87
	2023	0.316	4.42E-03	1.09E-03	2.79E-08	8.64E-09	13.89	0.871	0.0676	1.652	1.39E-06	42.69
	2024	0.625	7.74E-03	2.83E-03	4.79E-08	1.68E-08	34.20	1.543	0.1145	3.307	2.72E-06	85.51
Blé tendre	2022	0.254	3.46E-03	9.14E-04	2.17E-08	7.59E-09	15.86	0.773	0.0530	1.344	1.11E-06	36.35
	2023	0.342	4.78E-03	1.18E-03	3.02E-08	9.36E-09	15.03	0.943	0.0731	1.788	1.50E-06	46.21
	2024	0.487	6.04E-03	2.21E-03	3.74E-08	1.31E-08	26.69	1.204	0.0893	2.580	2.12E-06	66.72
Orge brassicole	2023	0.230	3.41E-03	1.06E-03	2.16E-08	7.64E-09	7.19	0.784	0.0491	0.167	1.06E-06	31.47
	2024	0.366	3.38E-03	1.48E-03	1.98E-08	1.27E-08	1.30	1.316	0.0512	0.245	1.55E-06	40.34
	2025	0.246	2.17E-03	8.35E-04	1.27E-08	8.32E-09	7.89	0.866	0.0326	0.160	9.99E-07	28.35
Blé dur bio	2023	0.152	1.53E-03	9.81E-04	1.04E-08	3.67E-09	0.33	1.127	-0.0273	0.411	2.31E-07	22.52
	2024	0.297	3.65E-03	1.89E-03	2.59E-08	5.45E-09	0.68	1.955	-0.0764	1.075	4.48E-07	46.51
	2025	0.167	1.77E-03	9.94E-04	1.26E-08	3.46E-09	0.35	1.037	-0.0372	0.527	2.30E-07	24.05

CLI: potentiel de réchauffement global ; ACI : potentiel d'acidification ; EUT : potentiel d'eutrophisation ; PAF : particules fines ; HTX : toxicité humaine ; ETX : écotoxicité ; OCC : occupation des terres agricoles ; EAU : potentiel de privation en eau ; NRJ : consommation de ressources énergétiques ; RES : consommation de ressources métaux et minerais ; ScU : score unique

Tableau 4 – Résultats de l'EICV pour l'étape de production agricole, pour chaque catégorie d'impact, pour l'unité fonctionnelle par hectare

/ha	Catégorie d'impact	CLI	ACI	EUT	PAF	HTX	ETX	OCC	EAU	NRJ	RES	ScU
	Unité	kg CO ₂ eq.	mol H ⁺ eq.	kg PO ₄ ³⁻ eq.	Disease inc.	CTUh	CTUe	m ² a	m ³ depriv.	MJ	kg Sb eq.	mPt
Blé dur	2020	3 078	34.80	10.71	2.13E-04	9.30E-05	26 788	8 549	548.8	15 761	0.0128	356
	2021	3 233	36.53	10.90	2.24E-04	9.21E-05	148 238	8 544	570.1	16 333	0.0134	409
	2022	2 808	38.20	10.10	2.40E-04	8.38E-05	175 212	8 545	585.6	14 846	0.0122	402
	2023	3 099	43.36	10.68	2.73E-04	8.48E-05	136 228	8 545	662.8	16 208	0.0136	419
	2024	3 460	42.88	15.69	2.65E-04	9.28E-05	189 448	8 549	634.0	18 318	0.0151	474
Blé tendre	2022	2 808	38.20	10.10	2.40E-04	8.38E-05	175 205	8 544	585.6	14 845	0.0122	402
	2023	3 099	43.36	10.68	2.73E-04	8.48E-05	136 238	8 546	662.9	16 209	0.0136	419
	2024	3 460	42.88	15.69	2.65E-04	9.28E-05	189 455	8 549	634.0	18 319	0.0151	474
Orge brassicole	2023	2 483	36.89	11.50	2.34E-04	8.26E-05	77 710	8 475	530.1	1 801	0.0115	340
	2024	2 356	21.77	9.55	1.28E-04	8.14E-05	8 354	8 472	329.4	1 579	0.0100	260
	2025	2 418	21.32	8.19	1.25E-04	8.17E-05	77 479	8 504	320.3	1 568	0.0098	278
Blé dur bio	2023	1 145	11.57	7.40	7.88E-05	2.77E-05	2 511	8 501	-205.8	3 100	0.0017	170
	2024	1 296	15.89	8.22	1.13E-04	2.38E-05	2 968	8 517	-332.8	4 681	0.0020	203
	2025	1 370	14.52	8.17	1.03E-04	2.84E-05	2 872	8 517	-305.4	4 330	0.0019	198

CLI: potentiel de réchauffement global ; ACI : potentiel d'acidification ; EUT : potentiel d'eutrophisation ; PAF : particules fines ; HTX : toxicité humaine ; ETX : écotoxicité ; OCC : occupation des terres agricoles ; EAU : potentiel de privation en eau ; NRJ : consommation de ressources énergétiques ; RES : consommation de ressources métaux et minerais ; ScU : score unique

Les différentes catégories d'impact contribuent au **score unique** selon les facteurs de **normalisation et pondération** proposés par Sala (2018). Le graphe suivant montre la contribution de ces différentes catégories d'impact au score unique pour le cas du blé dur (moyenne pondérée des cinq années d'essais). Ce graphique souligne l'importance de ne pas se focaliser uniquement sur la contribution au réchauffement climatique, qui représente 21% du score unique. D'autres catégories d'impact sont également importantes : la qualité de l'environnement local, avec l'acidification et l'eutrophisation, la toxicité et la consommation de ressources contribuent chacune pour plus de 10% du score unique.

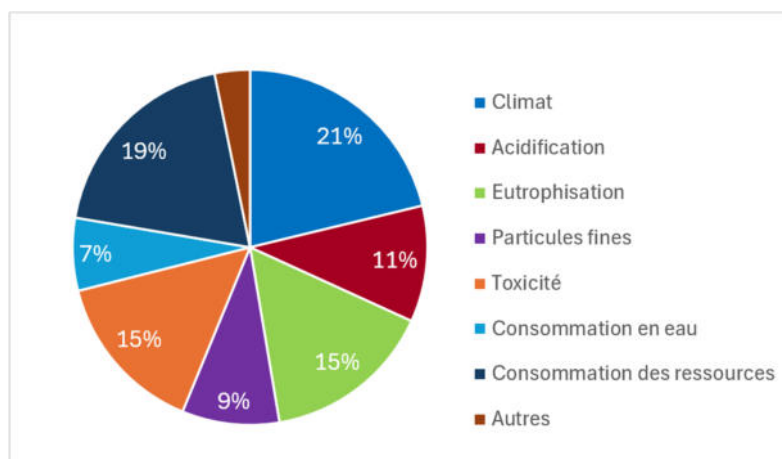


Figure 2 – Contribution des catégories d'impact au score unique

Par conséquent, afin de faciliter la compréhension et la communication des résultats, ces derniers sont présentés et discutés ci-dessous en utilisant uniquement le **score unique**.

La figure ci-dessous compare les résultats exprimés **par kg de MF** pour le score unique (ScU), pour les différentes céréales comparées.

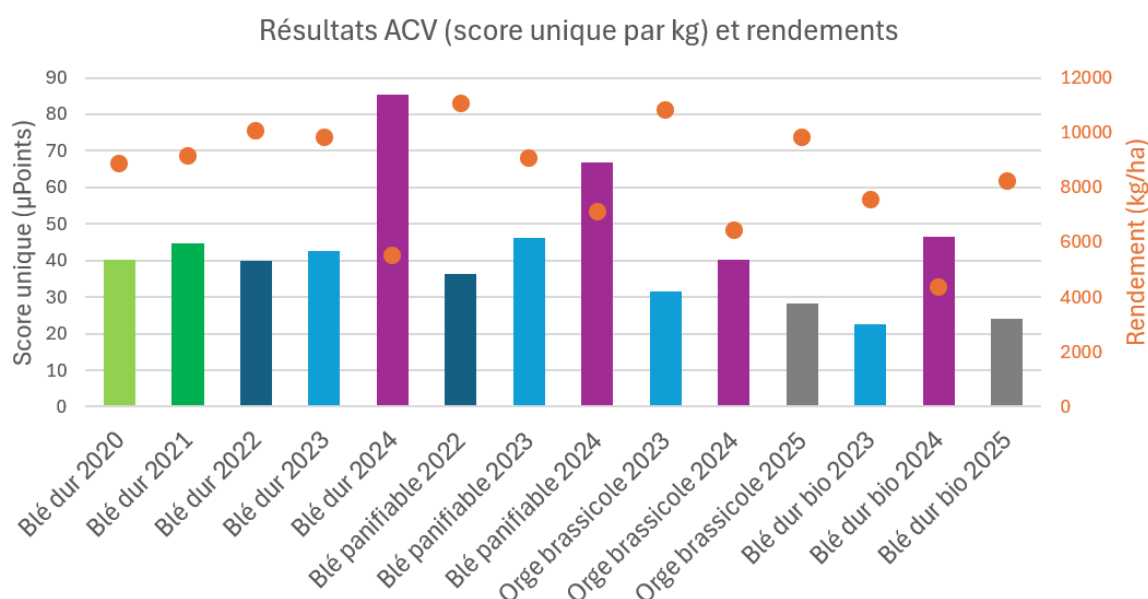


Figure 3 – Comparaison des résultats pour 1kg de matière fraîche, exprimés selon le score unique

Ces résultats en kg de MF montrent la forte influence du **rendement** : au plus le rendement est élevé, au moins importants sont les impacts.

On observe également l'**effet année** : les résultats de 2024 sont moins bons pour toutes les céréales à cause des conditions météo qui ont influencé négativement les rendements.

Exprimés **par ha** (Figure 4), les résultats soulignent le lien entre pression environnementale et fertilisation azotée : au plus importantes sont les quantités d'azote apportées par ha, au plus importants sont les impacts par hectare.

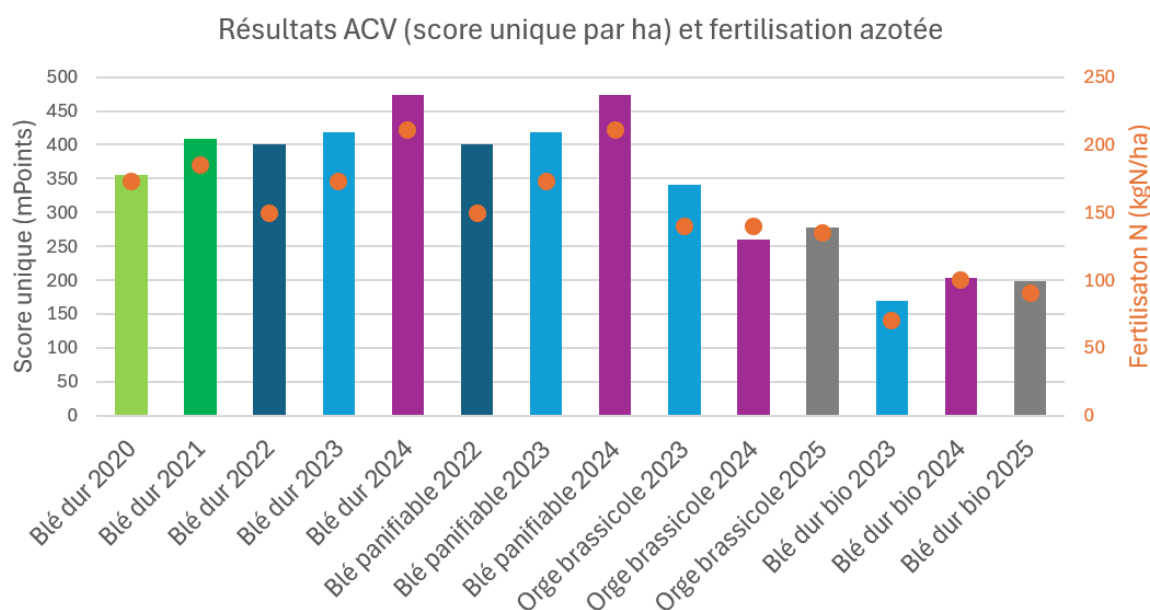


Figure 4 - Comparaison des résultats pour 1 hectare, exprimés selon le score unique

Comme le montrent les résultats, le **choix de l'UF** est sensible. Une UF liée au produit (kgFM) reflète l'un des principaux rôles de l'agriculture, qui est de fournir de la biomasse pour des utilisations alimentaires et non alimentaires. Cependant, le rôle multifonctionnel de l'agriculture nous a également conduits à utiliser la superficie (ha) comme UF alternative, comme proposé par Nemecek et al. (2011). La production est souvent considérée comme l'objectif central des systèmes agricoles, tandis que l'entretien du paysage est secondaire (Charles et al. 2006). L'unité de surface peut cependant être un choix approprié si l'objectif de l'étude est d'évaluer quelle culture exerce le moins de pression environnementale sur les terres (les terres étant considérées comme une ressource finie et fragile). Exprimer et comparer les **résultats ACV selon ces deux UF** constitue donc une bonne pratique.

3.2. Comparaison des données spécifiques avec une base de données génériques

La figure ci-après compare les résultats liés aux données spécifiques récoltées pour la production de blé dur sur base des essais d'Acosse avec un cas type français issu de la base de données AgriBalyse v3.1.1 (Koch et Salou, 2022) (nom du process utilisé : « *Durum wheat grain, conventional, national average, at farm gate/FR U* »).

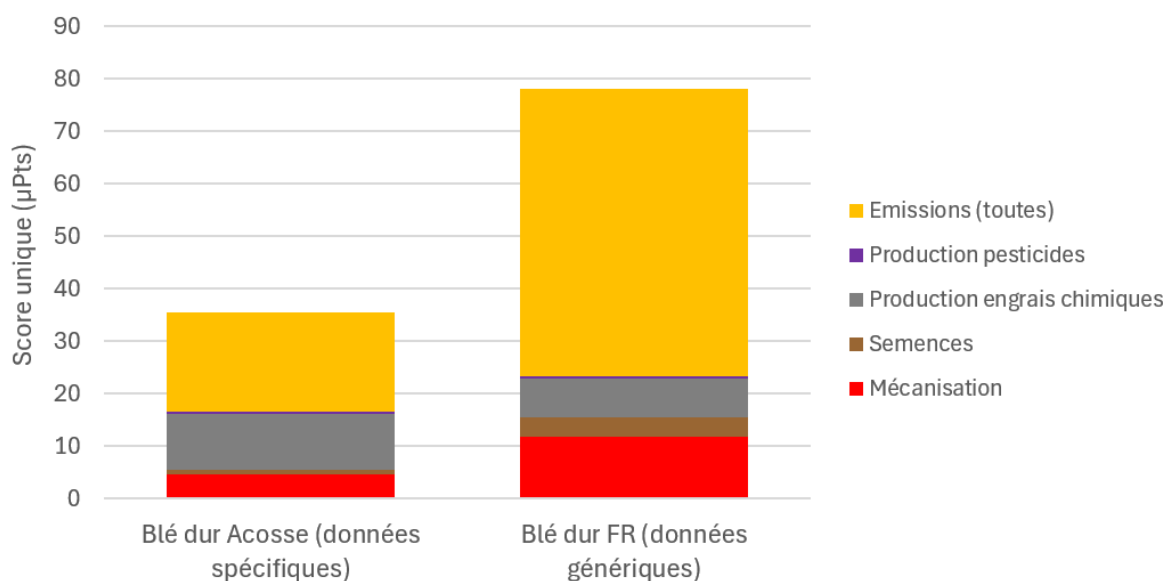


Figure 5 – Comparaison des données spécifiques versus génériques pour la production d'1 kg de blé dur

Cette comparaison illustre l'importance d'utiliser des données **spécifiques** à la région étudiée. Il faut cependant garder à l'esprit que, dans la présente étude, ce sont des données d'essais qui sont mobilisées. Dans des conditions d'essais, la culture et les interventions sont suivies avec précision et les rendements obtenus sont généralement plus élevés qu'en conditions réelles. Ici le rendement moyen obtenu sur les cinq années d'essais est de 8 693 kg/ha alors que l'itinéraire type en France utilise un rendement de 4 759 kg/ha, qui est certainement plus représentatif des résultats rencontrés sur le terrain, chez les agriculteurs français.

3.3. Contribution des différentes étapes de production à l'impact total

La figure ci-dessous précise les contributions des étapes de production du blé dur (moyenne pondérée pour les différents essais et années) pour les différentes catégories d'impact.

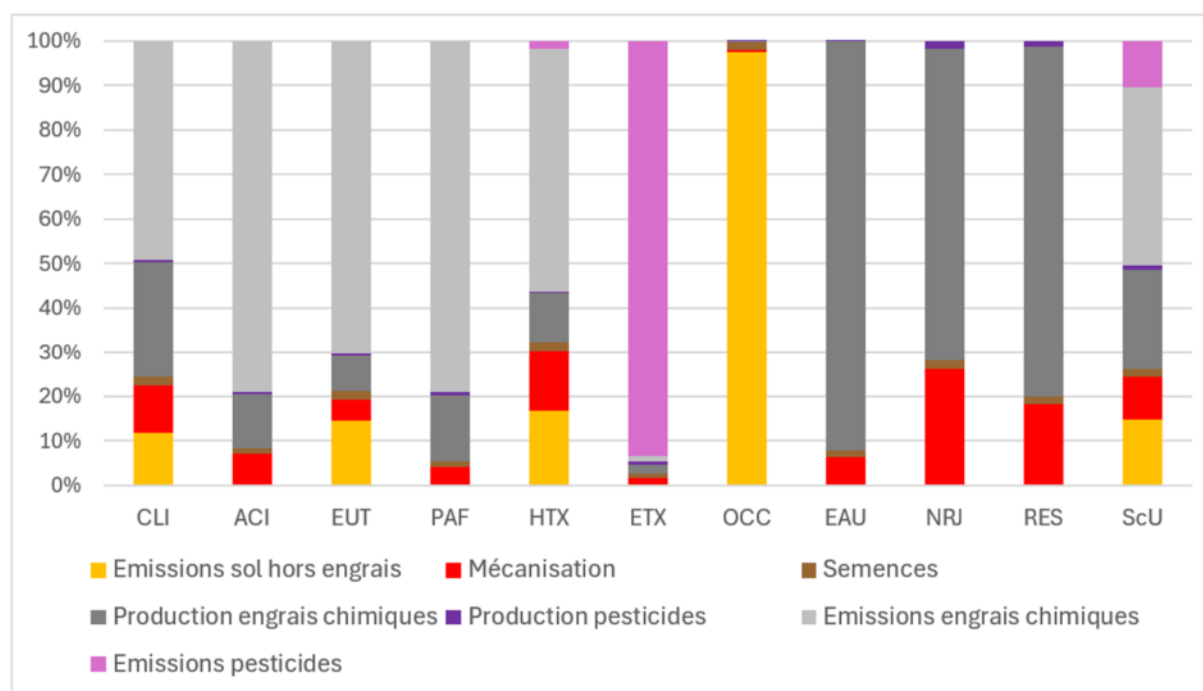


Figure 6 – Contribution des étapes de production aux impacts totaux de la production de blé dur

CLI : potentiel de réchauffement global ; ACI : potentiel d'acidification ; EUT : potentiel d'eutrophisation ; PAF : particules fines ; HTX : toxicité humaine ; ETX : écotoxicité ; OCC : occupation des terres agricoles ; EAU : potentiel de privation en eau ; NRI : consommation de ressources énergétiques ; RES : consommation de ressources métaux et minéraux ; ScU : score unique

Ce sont les **engrais**, du fait des impacts liés à leur production ainsi que les émissions au champ liées à leur utilisation, qui représentent la plus grande part des impacts dans la plupart des catégories.

L'impact de la **mécanisation** est également bien visible dans la majorité des catégories.

L'impact des **produits de protection des plantes** n'est visible que dans la catégorie écotoxicité mais contribue au score unique.

Cette analyse par étape de production peut être faite pour chaque céréale étudiée (moyenne pondérée des différentes modalités et années). Elle montre la contribution de tous les éléments de production au score unique (Figure 6).

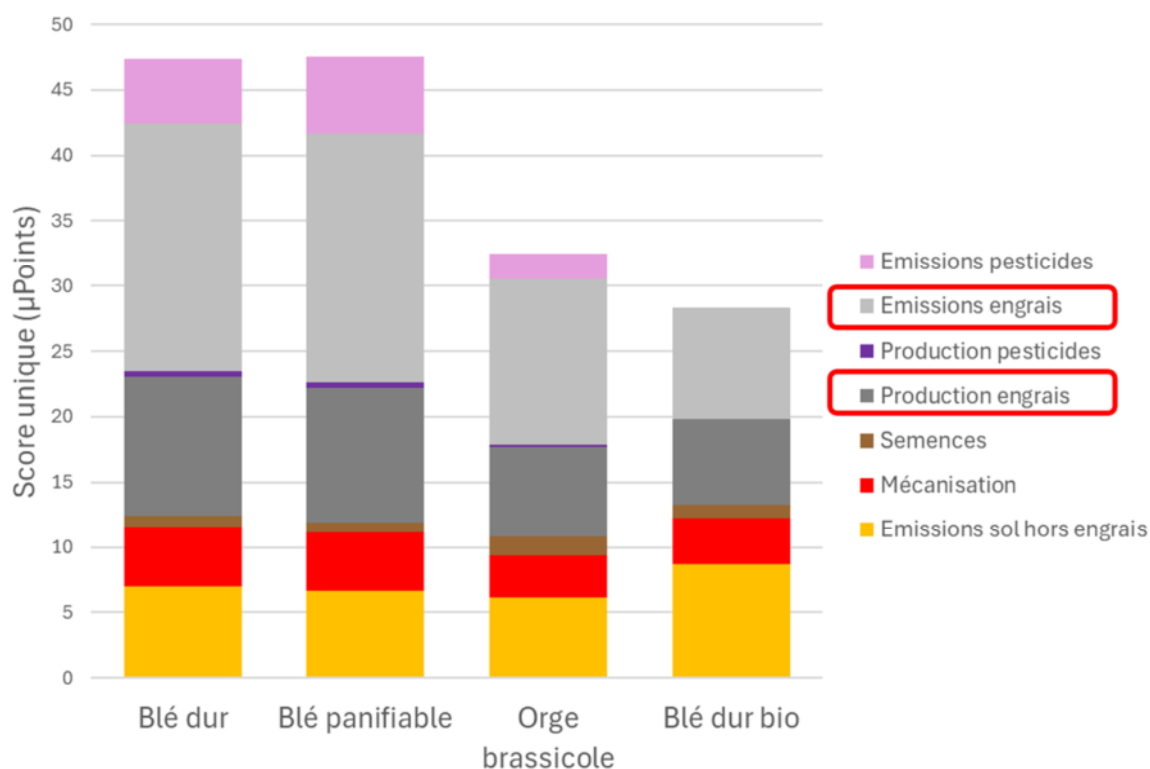


Figure 7 - Contribution des étapes de production aux impacts totaux (score unique) de la production des céréales comparées

De cette figure transparaît à nouveau l'importance de la **fertilisation azotée** pour laquelle l'étape de production des engrais et les émissions liées à leur utilisation contribuent pour entre 53 et 62% de l'impact total.

Notons que pour le blé dur bio, l'engrais azoté utilisé est Organofertil ou Viva Orga. Ces engrais organiques à base de fientes de poulets et de lisier de porc doivent être séchés et pelletisés, ce qui explique l'impact lié à leur production, là où habituellement en ACV, aucun impact n'est comptabilisé pour la production des engrais de ferme (seule leur utilisation est considérée).

3.4. Poids de l'étape de production agricole à l'échelle de la filière

Pour aller plus loin, cette section présente des résultats ACV pour toute une filière de production et transformation, **jusqu'à l'assiette du consommateur**. Les produits comparés sont **cuisinés et prêts à être mangés** :

- Pâtes de blé dur cuites
- Pain de blé panifiable
- Bière à partir d'orge brassicole
- Frites à partir de pommes de terre (variété Fontane, données du projet Patat'up)

La filière des frites est ajoutée car cet aliment entre souvent en compétition avec les pâtes dans le choix du repas des consommateurs.

Les données utilisées pour la transformation, la conservation, le transport et la cuisson à la maison proviennent de la base de données française AgriBalyse v3.1.1 (Koch et Salou, 2022).

La figure ci-dessous présente les résultats en détaillant les étapes de production pour 1 kg d'aliment prêt à être consommé à la maison. Les étapes considérées sont :

- Production agricole, dont stockage chez le négociant
- Transport vers le lieu de transformation
- Transformation :
 - o Pâtes : 1^{ère} transformation (moulin), 2^{ème} transformation en pâtes, transports et pertes
 - o Pain : 1^{ère} transformation (moulin), 2^{ème} transformation en pain, transports et pertes
 - o Bière : brassage, transports et pertes
 - o Frites congelées : découpe et pelage, pertes à la découpe et traitement des déchets, congélation des frites fraîches, transport
- Emballage, dont transport des emballages plastiques et verres
- Transport en camion jusqu'au distributeur (camion frigo pour les frites)
- Conservation chez le distributeur
- Transport en camion vers le supermarché (camion frigo pour les frites)
- Au supermarché : conservation et gaspillage (pertes et traitement des déchets)
- A la maison : conservation au congélateur pour les frites, cuisson à l'eau pour les pâtes, en friteuse pour les frites (huile comprise), traitement des déchets d'emballage

L'unité fonctionnelle utilisée pour la comparaison est le **MJ** apporté par le produit consommé, selon les **valeurs alimentaires** des aliments préparés (tables fournies par cical.anses.fr) :

- 1 kg de blé dur produit 1,5 kg de pâtes cuites pour un apport alimentaire de 11 MJ
- 1 kg de blé tendre produit 1,5 kg de pain pour un apport alimentaire de 14 MJ
- 1 kg d'orge brassicole produit 7,3 kg de bière pour un apport alimentaire de 14 MJ
- 1 kg de pommes de terre produit 0.61 kg de frites cuites pour un apport alimentaire de 6.6 MJ

Les résultats sont présentés pour le score unique (en μ points par MJ) dans les figures ci-dessous.

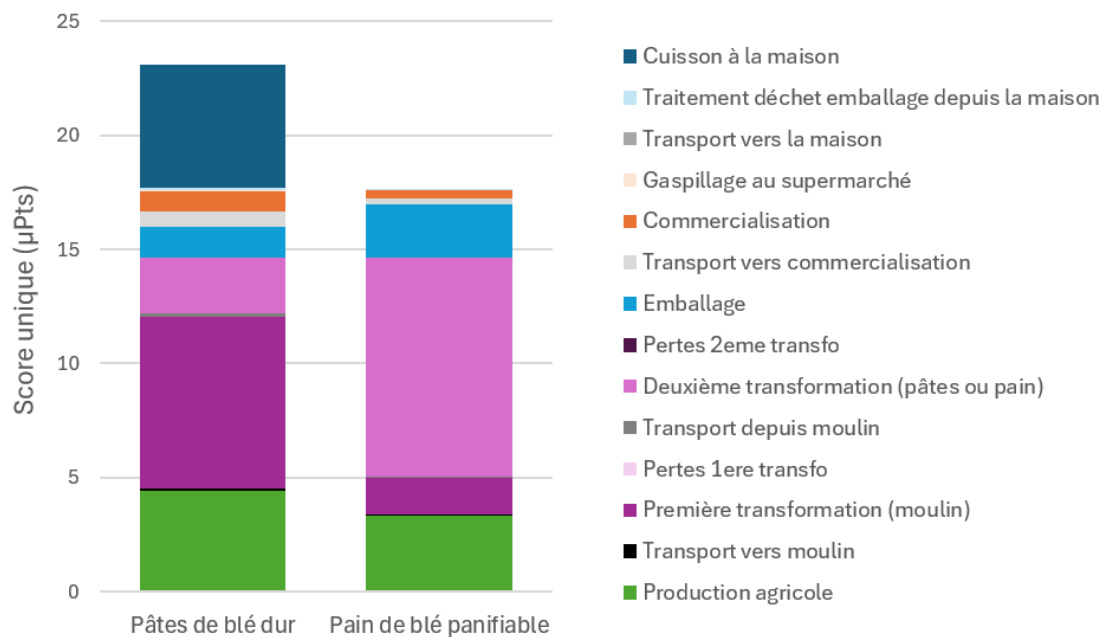


Figure 8 – Impacts de la production, transformation, transport, conservation et cuisson d'1 MJ fourni par des pâtes issues de blé dur et du pain issu de blé panifiable

De cette première comparaison, on observe l'impact plus important des pâtes de blé dur par rapport au pain.

Si on ajoute la bière et les frites à la comparaison, on voit que c'est la bière qui a le plus d'impact pour un même apport énergétique.

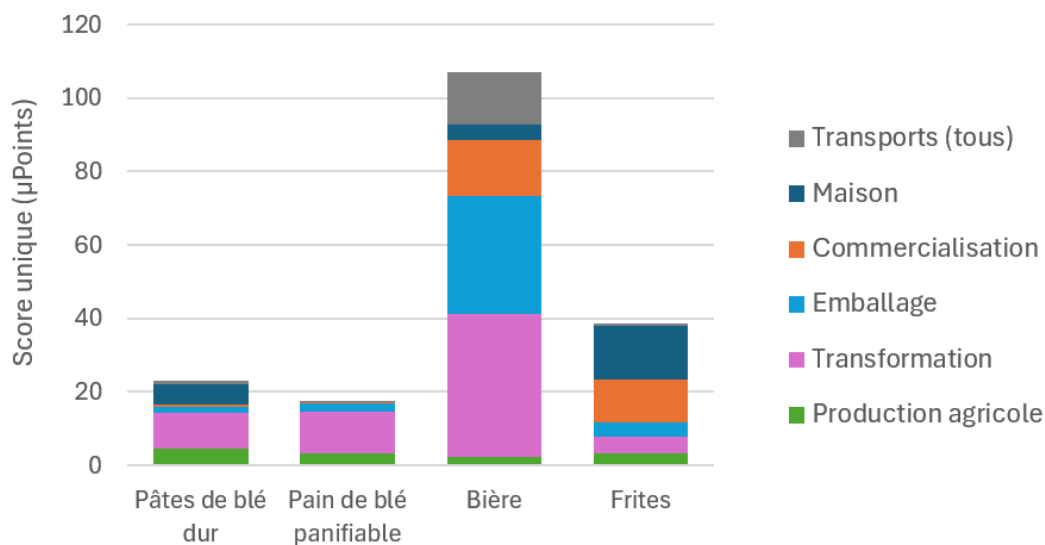


Figure 9 - Impacts de la production, transformation, transport, conservation et cuisson d'1 MJ fourni par des pâtes issues de blé dur, du pain issu de blé panifiable, de la bière à partir d'orge brassicole ou des frites de pommes de terre

Enfin, le choix du consommateur, entre pâtes de blé dur ou frites, serait à l'avantage des pâtes.

4. Pistes d'amélioration

Les ACV menées dans le cadre de cette étude sont basées sur les résultats d'**essais**. Comme remarqué à la section 3.2, les résultats d'essais aboutissent généralement à des rendements supérieurs à ceux rencontrés chez les agriculteurs. Utiliser des données récoltées chez des agriculteurs permettraient de rendre cette étude plus représentative du terrain. D'après la SCAM (COMAC n°6, 19/03/2026), le rendement moyen observé depuis l'initiation des contrats blé dur avec les agriculteurs (de 2021 à aujourd'hui) tourne plutôt autour des 6 tonnes par hectare, soit un rendement 45% moins élevé que les 8.7 t/ha mesurés sur les essais.

Afin de tenir compte du rôle multifonctionnel de l'agriculture, une troisième unité fonctionnelle, liée à l'économie, exprimant les **impacts par euro** de marge brute par exemple, permettrait d'identifier les cultures et les pratiques culturales permettant de limiter les impacts environnementaux tout en tenant compte des revenus générés pour l'agriculteur.

Ensuite, les données concernant la **fertilisation organique** sur des cultures précédant le blé dur dans la rotation permettraient de compléter les ACV de manière à considérer la totalité des étapes de production.

Enfin, des données spécifiques pour la **transformation** du blé dur permettraient de le comparer aux céréales et aliments concurrents dans le contexte spécifique de la Wallonie.

5. Conclusions

Des résultats d'ACV pour plusieurs itinéraires phytotechniques de production de blé dur, en conventionnel et en bio, issus d'essais menés par le CRA-W, ont été comparés avec des essais sur le blé panifiable et l'orge brassicole.

Les résultats montrent l'intérêt d'utiliser à la fois l'unité fonctionnelle reflétant le rôle producteur de l'agriculture (1 kg de céréales) et l'unité fonctionnelle relative aux surfaces (1 hectare) afin d'évaluer quelle culture exerce le moins de pression environnementale sur les terres. Il est important de chercher à sélectionner les **modes de cultures qui ont de bonnes performances à la fois par unité de produit et par unité de surface** afin de ne pas opposer production alimentaire et préservation des ressources et de l'environnement.

Bien que des bases de données ACV existent (par exemple des moyennes européennes et françaises) et fournissent des ACV pour la production de blé dur, il est toujours pertinent de produire des **ACV spécifiques aux conditions locales**. Etant donné la variabilité et les différences entre les modes de production au sein d'une région, la présente étude est utile pour fournir des **références ACV locales pour la production de blé dur** et de ses principales concurrentes sur le marché.

6. References

- Andreasi Bassi S, Biganzoli F, Ferrara N, Amadei A, Valente A, Sala S, Ardente F (2023) Updated characterisation and normalisation factors for the Environmental Footprint 3.1 method, EUR 31414 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023, ISBN 978-92-76-99069-7, doi:10.2760/798894, JRC130796
- Boulay A-M, Bare J, Benini L, et al. (2018) The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE). *Int J Life Cycle Assess* 23:368–378.
- Charles R, Jolliet O, Gaillard G, Pellet D (2006) Environmental analysis of intensity level in wheat crop production using life cycle assessment. *Agric Ecosyst Environ* 113:216-225
- Crenna E, Secchi M, Benini L, et al. (2019) Global environmental impacts: data sources and methodological choices for calculating normalization factors for LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 24:1851–1877
- EMEP/EEA (2013a) Air pollutant emission inventory guidebook Part B: sectoral guidance chapters; Chapter 3B: Agriculture - Manure management 65p
- EMEP/EEA (2013b) Air pollutant emission inventory guidebook Part B: sectoral guidance chapters; Chapter 3D: Agriculture - Crop production and agricultural soils 43p
- Fazio S, Castellani V, Sala S, Schau EM, Secchi M, Zampori L, Diaconu E (2018) Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment methods, version 2, from ILCD to EF 3.0, EUR 29600 EN, European Commission, Ispra, 2018, ISBN 978-92-79-98584-3, doi:10.2760/002447, JRC114822
- Freiermuth R (2006) Modell zur Berechnung der Schwermetall-flüsse in der Landwirtschaftlichen Ökobilanz - SALCA-Schwermetall. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART), 28p
- Frischknecht R, Jungbluth N, Althaus H-J, Bauer C, Doka G, Dones R, Hischier R, Hellweg S, Humbert S, Köllner T, Loerincik Y, Margni M, Nemecek T (2007) Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods - ecoinvent report No 3 v20. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf
- Goedkoop M, Heijungs R, Huijbregts MAJ, De Schryver A, Struijs J, van Zelm R (2009) ReCiPe (2008) - A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level - First edition - Report I: Characterisation. Ruimte en Milieu - Ministerie van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, the Netherlands
- Guinée J, Gorrée M, Heijungs R, Huppes G, Kleijn R, de Koning A, van Oers L, Wegener Sleeswijk A, Suh S, Udo de Haes HA, de Bruijn H, van Duin R, Huijbregts MAJ (2002) Handbook on life cycle assessment Operational guide to the ISO standards I: LCA in perspective IIa: Guide IIb: Operational annex III: Scientific background Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 692 pp
- IPCC (2019) 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland
- ISO (2006a) ISO14040:2006 - Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. Switzerland, 20p
- ISO (2006b) ISO14044:2006 - Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. Switzerland, 46p
- Koch P, Salou T (2022) AGRIBALYSE®: rapport méthodologique, volet agriculture – AgriBalyse v3.1. ADEME, Angers France, 342p
- Morais TG, Teixeira RFM, Domingos T (2016) Regionalization of agri-food life cycle assessment: a review of studies in Portugal and recommendations for the future. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 21:875-884

-
- Nemecek T (2013) Estimating direct field and farm emissions. Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART, Zurich, Switzerland, 31p
- Nemecek T, Kägi T (2007) Life Cycle Inventories of Swiss and European Agricultural Production Systems - Final report ecoinvent V20 No 15a. Agroscope Reckenholz-Taenikon Research Station ART, Swiss Center for Life Cycle Inventories, Zurich and Dübendorf CH, 360p
- Nemecek T, Dubois D, Huguenin-Elie O, Gaillard G (2011) Life cycle assessment of Swiss farming systems: I. Integrated and organic farming. *Agricultural Systems* 104:217-232
- Piazzalunga G, Planchon V, Oger R (2012) CONTASOL - Evaluation des flux d'éléments contaminants liés aux matières fertilisantes épandues sur les sols agricoles en Wallonie - Rapport final. Walloon Agricultural Research Centre CRA-W, 201p + annexes
- Posch M, Seppälä J, Hettelingh J-P, Johansson M, Margni M, Jolliet O (2008) The role of atmospheric dispersion models and ecosystem sensitivity in the determination of characterisation factors for acidifying and eutrophying emissions in LCIA. *Int J Life Cycle Assess* 13:477-486
- Prasuhn V (2006) Erfassung der PO4-Austräge für die Ökobilanzierung - SALCA-Phosphor. Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART) 20p
- PRé (2025) SimaPro 10.2.0.2. PRé Sustainability, Amersfoort, the Netherlands
- Rabier F, Miserque O, Pekel S, Dubois G, Noël H (2008) Guide of running costs for farm equipment: a simple tool for decision making. In: Huyghebaert B, Lorencowicz E, Uziak J (Eds) *Farm machinery and process management in sustainable agriculture - III International Scientific Symposium*. Walloon Agricultural Research Centre, Gembloux, pp 43-50, available online at <http://www.crawallonie.be/fr/164/Outils> (in French)
- Rabl A, Spadaro JV (2004) The RiskPoll software, version is 1.051 (dated August 2004). www.arirabl.com
- Richner W, Oberholzer HR, Freiermuth R, Huguenin O, Ott S, Nemecek T, Walther U (2014) Modell zur Beurteilung der Nitratauswaschung in Ökobilanzen – SALCA-NO3. Agroscope Reckenholz-Taenikon Research Station ART, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Agroscope Science Nr 5 p 60
- Rosenbaum RK, Bachmann TM, Swirsky Glod L, Huijbregts M, Jolliet O, Juraske R, Koehler A, Larsen HF, Macleod M, Margni M, Mckone TE, Payet J, Schuhmacher M, Van De Meent D, Hauschild M (2008) USEtox—the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 13: 532-546
- Sala S, Cerutti AK, Pant R (2018) Development of a weighting approach for the Environmental Footprint, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-68042-7, EUR 28562, doi:10.2760/945290
- Sonnet P, Bock L, Bogaert P, Colinet G, Delcarte E, Delvaux B, Ducarme F, Laroche J, Maesen P, Marcoen J, Wibrin M (2003) Etablissement et cartographie des teneurs brutes de fond en éléments traces métalliques (ETM) et micro-polluants organiques (MPO) dans les sols de la Région wallonne. Rapport final du groupe d'étude APP "Application de la pédologie aux problèmes de pollution" (SPAQUE - UCL - FUSAGx - BEAGx - CAFX). UCL, Unité des sciences du sol, 124p
- van Oers L, Guinée JB, Heijungs R (2020) Abiotic resource depletion potentials (ADPs) for elements revisited—updating ultimate reserve estimates and introducing time series for production data. *Int J Life Cycle Assess* 25, 294–308 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01683-x>