



**HAL**  
open science

# Création d'indicateurs économiques à partir du descriptif technique contenu dans les enquêtes Pratiques Culturales (PK)

Benjamin Fayolle, Thibault Peyrard, Xavier Reboud

► **To cite this version:**

Benjamin Fayolle, Thibault Peyrard, Xavier Reboud. Création d'indicateurs économiques à partir du descriptif technique contenu dans les enquêtes Pratiques Culturales (PK) : note méthodologique. 2023, 10.17180/zv17-3661 . hal-04050101

**HAL Id: hal-04050101**

**<https://hal.inrae.fr/hal-04050101>**

Submitted on 5 Apr 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0  
International License

# Note méthodologique

---

Création  
d'indicateurs  
économiques à  
partir du descriptif  
technique  
contenu dans les  
enquêtes  
Pratiques  
Culturales (PK)

**24 MARS 2023**

---

Benjamin Fayolle  
Thibault Peyrard  
Xavier Reboud



Designed by Freepik

**INRAE**

# Résumé

**Résumé**\_ Nous avons engagé des travaux pour nourrir une analyse des implications technico économiques de la mobilisation d'alternatives à des herbicides pour éclairer les politiques publiques sur les conséquences potentielles d'une évolution réglementaire les concernant. Dans ce cadre, nous avons construit et rédigé cette note méthodologique face au constat d'un déficit de lien direct possible entre un itinéraire de conduite tel que pratiqué par un agriculteur et un bilan économique adossé au déroulé qui a été retenu. On sait pourtant que la question de la rentabilité entre dans beaucoup de décisions des agriculteurs et que les sources d'incertitudes sont multiples. Elles concernent aussi bien le prix de vente que le degré de provision pour couvrir des pannes sur les équipements ou les formes que peuvent prendre le retour sur investissement avec des effets différés. Notre volonté était donc de mettre en place une procédure lourde à établir mais simple ensuite d'utilisation, où des informations issues de différentes sources soient rapprochées : contenu des enquêtes sur les pratiques culturales (enquêtes PK) d'Agreste, enregistrement des pratiques au sein des fermes du réseau DEPHY dans le système d'information Agrosyst, référentiels de prix pratiqués en agriculture. Nous détaillons dans ce document comment les calculs ont été faits et illustrons son utilisation. Le document laisse une large place aux figures et tableaux synthétiques. Nous revenons enfin sur l'apport de cette approche pour comparer différentes conduites menant à des choix souvent contrastés pour les agriculteurs comme passer d'une conduite conventionnelle à une conduite en AB. Une retombée de ce travail est aussi de permettre sur des effectifs importants d'approcher la valeur qu'il faudrait fixer à une aide financière pour orienter les choix des agriculteurs.

**Mots clés** : évaluation, pratiques agricoles, marge nette, rentabilité, comparaison, agronomie, économie, statistiques

**Abstract**\_ We have undertaken an analysis of the technical and economic implications of the mobilisation of alternative agricultural practices to the use of herbicides in order to inform public policies on the potential consequences of changes in regulation concerning them. In this context, we have built up and drafted this methodological note facing the observation that there is no possible direct link between the agricultural practices chosen by a farmer and the economic return attached to the entire process selected. We know, however, that the question of profitability is an important part of the decisions of many farmers and that there are several sources of uncertainty concerning the selling price as well as the funds needed to cover equipment failures or the forms that the return on investment may take with deferred effects.

Our attempt was therefore to propose a methodological approach that was cumbersome to set up but then simple to implement, where information from different sources could be linked: content of surveys by the French Ministry of Agriculture on agricultural practices

(Agreste), recording of network practices of DEPHY farms in Agrosyst Information System, and frames of reference for prices practiced in agriculture.

We detail in this document how the calculations were carried out and provide illustrations of its use. The document contains a lot of figures and summary tables providing synthesised information. Finally, we come back to the interest of this approach to compare different options leading to contrasting choices for farmers, for instance converting to organic agriculture. A potential use of this work would be, to statistically approximate the value that should be attached to a financial assistance in order to better orient farmers' choices towards sustainable practices.

**Keywords:** evaluation, agricultural practices, net margin, profitability, comparison, agronomy, economics, statistics

#### **Pour citer ce document**

B. Fayolle, T. Peyrard, X. Reboud (2023) Création d'indicateurs économiques à partir du descriptif technique contenu dans les enquêtes Pratiques Culturelles (PK). Note méthodologie. INRAE, 32p. <https://hal.inrae.fr/hal-04050101>

# Table des matières

Table des matières .....	2
1. Introduction.....	5
1.1. Contexte.....	5
1.2. Objectifs.....	5
2. Description de l'approche employée .....	7
2.1. Les sources de données mobilisées.....	7
2.1.1. Les enquêtes Pratiques Culturelles .....	7
2.1.2. Les référentiels du système d'information Agrosyst .....	7
2.1.3. Les barèmes d'entraide agricole .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2.2. Construction des différentes variables économiques.....	8
2.2.1. La valeur de la production, ou produit brut.....	9
2.2.2. Le coût des intrants, ou charges opérationnelles .....	10
2.2.2.1. L'eau d'irrigation .....	10
2.2.2.2. La fertilisation organique .....	11
2.2.2.3. La fertilisation minérale .....	12
2.2.2.4. Les semences.....	12
2.2.2.5. Les produits phytosanitaires .....	14
2.2.2.6. Les charges opérationnelles totales.....	14
2.2.3. Le coût des outils, ou charges de mécanisation .....	15
2.2.3.1. Distribution d'engrais minéral .....	16
2.2.3.2. Epandage de fumure organique .....	16
2.2.3.3. Application de produit phytosanitaire.....	17
2.2.3.4. Opération de semis .....	17
2.2.3.5. Opération de récolte.....	20
2.2.3.6. Opérations mécaniques de travail du sol .....	22
2.2.3.7. Les charges de mécanisation totales .....	25
2.3. Les principales failles identifiées et pistes d'amélioration .....	25
Références.....	29

# 1. Introduction

## 1.1. Contexte

La présente note va de pair avec les travaux publiés par INRAE sur le S-métolachlore (Reboud et al., 2022) et à venir sur le prosulfocarbe. Ces travaux s'insèrent dans une même commande en provenance du ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire, du ministère de la Transition écologique et du ministère des Solidarités et de la Santé. Cette sollicitation a pour objectif, sur la base d'une méthodologie consolidée et à partir de bases de données solides préexistantes, de cerner les alternatives chimiques et non chimiques à certains pesticides, et d'éclairer la faisabilité et les impacts technico-économiques de la mobilisation de ces alternatives pour les exploitations agricoles.

Dans ce cadre, la mobilisation des données issues des enquêtes sur les pratiques culturales (Soleilhavoup & Crisan, 2020, « PK » par la suite), réalisées par le Service de la Statistique et de la Prospective (SSP) du ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire est essentielle. Ces enquêtes, réalisées tous les trois à quatre ans pour les grandes cultures, recueillent un large panel d'informations concernant les itinéraires techniques des agriculteurs, et visent par leur construction et par le nombre de parcelles enquêtées à être les plus représentatives possibles de la Ferme France (Soleilhavoup & Crisan, 2020).

Toutefois, si les bases de données découlant des enquêtes sont riches d'informations techniques (pratiques de désherbage, de fertilisation, de travail du sol, etc.), elles ne décrivent pas les résultats économiques des parcelles, ni des exploitations enquêtées. Par ailleurs, à la connaissance des auteurs, la conception des enquêtes PK est réalisée de manière indépendante d'autres sources de données, qui auraient pu permettre la déduction des résultats économiques, telles que le réseau d'information comptable agricole (RICA). Le rapprochement des résultats de ces différentes enquêtes n'est donc en pratique pas mobilisable.

## 1.2. Objectifs

Notre objectif général vise à assigner les impacts économiques attendus de la mobilisation de certaines alternatives à l'emploi de pesticides à partir de bases de données solides. Plus précisément, nous proposons une méthodologie qui permette de dériver des indicateurs économiques les plus pertinents possible de tout descriptif d'itinéraire technique des pratiques réalisées. Elle s'appuie pour cela sur la possibilité d'associer un coût économique unitaire à la mobilisation d'une pratique particulière en utilisant à la fois des référentiels de prix d'intrants, de récoltes et d'opérations culturales, ces derniers étant également mobilisés pour établir les barèmes d'entraide agricole. En effet, les barèmes servent de codification quantifiée de ce qu'un agriculteur apporte à un autre lorsqu'il vient lui apporter de l'aide, à charge éventuelle de réciprocité en travail ou en troc. Cette monétarisation des activités agricoles se retrouve aussi dans les interventions réalisées par les établissements de travaux

agricoles. Ponctuellement, selon la texture du sol, la pente, les conditions climatiques ou encore l'expérience du chauffeur, le passage d'un outil donné peut prendre plus ou moins de temps et engendrer des dépenses de fioul qui dépendront du tracteur employé. Pour autant, on peut faire l'hypothèse que les barèmes d'entraide traduisent, en moyenne, la dépense engendrée hors coût des intrants. S'il existe un risque d'erreur non maîtrisée pour des données ponctuelles, une application sur des effectifs élevés permettra d'approcher la valeur moyenne. Il en va de même pour le coût des intrants. Selon les modalités d'achat, les volumes, le moment de l'année, les valeurs des produits varient mais, pour autant, différents organismes compilent les prix pratiqués et proposent des tables. Une interrogation de prix sur des catalogues ou sur internet permet souvent de vérifier que l'ordre de grandeur d'une évaluation est respecté.

Comme les enquêtes PK ne contiennent pas d'information économique, celle-ci doit donc être reconstruite à partir des seules informations collectées. Dans la suite de cette note, nous décrivons comment nous avons utilisé les descriptions d'itinéraires techniques disponibles dans les enquêtes pour déduire un produit brut ou différents types de charges et de marges. Ce processus repose sur la compilation et la mobilisation de différents référentiels externes de prix et de coûts, issus du système d'information (SI) Agrosyst et des travaux de l'APCA, pour différents intrants ou matériels utilisés, ou pour différentes actions effectuées, qui seront ensuite agrégés en respectant le descriptif précis de l'itinéraire technique.

La présente note détaille la méthodologie employée pour construire ces référentiels et pour affecter un coût économique aux itinéraires techniques tels que décrits dans les enquêtes PK. Elle se conclut en tentant d'apporter une évaluation critique du bienfondé de notre approche.

## 2. Description de l'approche employée

### 2.1. Les sources de données mobilisées

#### 2.1.1. Les enquêtes Pratiques Culturelles

Comme mentionné, les enquêtes PK regroupent des informations relatives aux itinéraires techniques des agriculteurs. Ces enquêtes sont réalisées par le Service de la Statistique et de la Prospective (SSP) du ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire. Les enquêtes sont divisées par grands groupes de cultures (grandes cultures et prairies, légumes, arboriculture et viticulture) qui alternent sur un cycle de 3 à 6 ans selon les enquêtes. En grandes cultures, la fréquence de réalisation est de trois à quatre ans. Une variante plus légère, appelée enquête phytosanitaire, est parfois réalisée à la place (en 2014 en grandes cultures).

La présente méthodologie a été établie à partir de l'enquête grande culture la plus récente, celle de 2017 (PKGC<sub>2017</sub>). Une enquête a été réalisée en 2021, mais ses résultats n'étaient pas accessibles à l'écriture de cette note. L'accès aux résultats complets (non-anonymisés) est règlementé, et un des auteurs a bénéficié, pour l'accès aux données, des services du Centre d'accès sécurisé distant (CASD) dédié aux chercheurs autorisés suite à l'avis émis par le Comité français du secret statistique.

#### 2.1.2. Les référentiels du système d'information Agrosyst

La problématique de reconstruction des performances économiques à la parcelle, à partir d'un itinéraire technique décrit par l'agriculteur, est bien connue par les chercheurs et ingénieurs travaillant sur le système d'information Agrosyst. Agrosyst a pour vocation de mettre en forme et de permettre le traitement et la restitution de données issues du réseau des fermes et des expérimentations de DEPHY. Ce dernier rassemble d'une part, quelques 2 000 exploitations agricoles s'engageant volontairement dans une démarche de réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires, et d'autre part, une vingtaine de dispositifs expérimentaux visant des économies de pesticides plus importantes dans des systèmes plus en rupture de ce qui se pratique classiquement.

Agrosyst dispose d'un large ensemble de référentiels de prix, utilisés pour chiffrer économiquement les itinéraires techniques ou disposer d'une clé supplémentaire, reprenant les conditions de marché, de compréhension des choix réalisés par les agriculteurs. Ces référentiels sont généralement issus de concertations au sein du réseau des organismes partenaires, complétés par des observatoires de prix. La plupart des référentiels est mise à jour chaque campagne à l'aide des différents indices des prix du secteur agricole fournis publiquement par l'INSEE (IPPAP, IPAMPA, etc.) pouvant donner lieu à des référentiels millésimés.

Nous avons pu extraire et utiliser un certain nombre de ces référentiels afin d'affecter un coût à l'achat d'intrants.

### 2.1.3. Les coûts des opérations culturales

Une méthodologie d'estimation des coûts des opérations culturales a été développée par l'APCA<sup>1</sup>. Elle est mobilisée par une diversité d'acteurs, par exemple par le réseau DEPHY via le SI Agrosyst qui l'utilise pour ses calculs économiques, et par les Chambres d'Agriculture pour l'élaboration des barèmes d'entraide agricole. Selon la Chambre d'Agriculture de la Marne, un barème d'entraide agricole est « un registre des équivalences des coûts de revient entre les matériels eux-mêmes [...] et la main d'œuvre. » Les barèmes sont mis à jour chaque année, et sont généralement déclinés par région, voire par département, par les chambres d'agriculture, mais aussi parfois par les CUMA.

Cette méthodologie prend en compte le coût d'achat des outils, ainsi que leur coût d'utilisation (tracteur, usure, carburant) et le coût de main d'œuvre associé. Ils permettent ainsi d'associer un coût « tout compris » au passage d'un outil précis. Ces coûts sont généralement exprimés en euros par hectare ou en euros par heure.

Nous avons eu accès aux barèmes d'entraide 2020-2021 produit par les CUMA Bourgogne-Franche-Comté et Auvergne-Rhône-Alpes (CUMA AURA, 2021) afin de déterminer le coût des opérations mécanisées. Les références de prix et de conditions d'utilisations mobilisées dans cette note sont donc spécifiques à ces régions. Pour réaliser une analyse de sensibilité, on pourrait théoriquement reprendre la méthodologie tout en s'appuyant sur le barème d'un autre territoire ou d'une autre campagne. C'est toutefois un gros travail d'assemblage que de disposer de plusieurs jeux complets. D'autres approches d'évaluation de la sensibilité peuvent donc être privilégiées, comme faire varier certains prix dans une fourchette jugée cohérente.

## 2.2. Construction des différentes variables économiques

Les marges liées à la campagne agricole découlent de la vente de la production et de ses sous-produits éventuels ce qui génère un **produit brut** auquel on soustrait deux grandes catégories de charges qui sont généralement distinguées dans les descriptions économiques des itinéraires techniques : les coûts liés aux achats d'intrants de toute sorte, ou **charges opérationnelles**, et les coûts liés aux achats et à l'utilisation d'outils mécaniques, ou **charges de mécanisation**. La construction des référentiels de prix diffère donc selon le type de coût considéré. De manière générale, nous nous sommes appuyés sur les référentiels de prix d'Agrosyst pour calculer le revenu tiré de la vente de la production ainsi que le coût des intrants (charges opérationnelles), et sur les barèmes d'entraide agricole pour le calcul des coûts des outils (charges de mécanisation). Notons que nous incluons bien dans les charges de mécanisation les coûts de main d'œuvre associés à la réalisation du travail mécanique du sol. Nous ne prenons en revanche pas en compte les coûts de main d'œuvre manuelle car a priori négligeables avec la mécanisation des interventions en grandes cultures. Ce serait sans doute moins le cas pour le maraichage.

---

<sup>1</sup>[https://chambres-agriculture.fr/fileadmin/user\\_upload/National/002\\_inst-site-chambres/actu/2022/COC\\_2022\\_VF.pdf](https://chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/002_inst-site-chambres/actu/2022/COC_2022_VF.pdf)

### 2.2.1. La valeur de la production, ou produit brut

Le produit brut correspond à la valeur marchande de l'ensemble de la production. Dans les enquêtes PK, qui donnent des résultats à la parcelle, le prix de vente des produits qui en sont issus ne sont pas demandés. En revanche, il est assez facile de calculer le produit brut pourvu que le rendement soit correctement renseigné et que l'on dispose d'un prix de vente plausible de la récolte. Il peut être un peu plus délicat de savoir si des sous-produits ont aussi été vendus ou s'ils ont été autoconsommés ou broyés et enfouis comme cela peut être le cas pour la paille selon son état et l'existence d'une demande. Comme il faut souvent prévoir de compenser en année N+1 cet export de biomasse, nous ne tiendrons pas compte de la vente de paille dans la suite de nos calculs.

Dans ce qui suit, nous ferons régulièrement référence à des variables précises des enquêtes PK. La liste de ces variables et leur description peut être trouvée sur le site du CASD<sup>2</sup>.

Dans les enquêtes, la variable **RENDNORME** donne le rendement rapporté aux normes (de taux d'humidité ou d'impuretés, par exemple). Ce rendement est exprimé en quintaux par hectare (q/ha) ou en tonnes par hectare (t/ha) selon les cultures.

En parallèle, le système d'information Agrosyst dispose d'un vaste référentiel des prix des récoltes. Ces prix dépendent de la culture, de la destination, de la campagne de la période de commercialisation, et de la présence ou non d'une certification d'agriculture biologique. Nous sommes partis de ce référentiel, et nous en avons extrait les prix de vente moyens pour chaque culture en fonction de la campagne et du mode de production (bio ou non). Nous avons exprimé ces prix de vente en euros par tonne (€/t), pour toutes les cultures. En revanche nous n'avons pas eu la possibilité de tenir compte d'une possible modulation du prix, géographique par exemple, ou lorsqu'il y a une entente contractuelle sur un volume pluriannuel ou que l'agriculteur répond à un cahier des charges avec une surcote qui rémunère son effort à l'instar de la prime d'environ 20€ par tonne pour le label 'CRC blé de nos campagnes'.

En tenant compte des unités de rendement dans les enquêtes PK, nous avons ainsi calculé le produit brut de chaque parcelle comme le produit entre le rendement aux normes et le prix de vente de la production. Nous faisons systématiquement l'hypothèse que la totalité de la production est vendue (pas de prise en compte de l'autoconsommation).

Ainsi, le **produit brut**, donné en €/ha, est défini comme :

$$P_{brut} = \text{RENDNORME}_{cult} \times \mathbb{1}_{qt} \times \text{prix}_{cult}$$

Avec *cult* la culture de la parcelle et  $\mathbb{1}_{qt}$  une fonction indicatrice valant 1 si le rendement est exprimé en tonnes par ha, et 0,1 s'il est en quintaux par ha permettant de tenir compte des différentes unités de rendement (puisque les prix sont exprimés en €/t).

---

<sup>2</sup> <https://www.casd.eu/source/pratiques-culturelles-sur-les-grandes-cultures/>

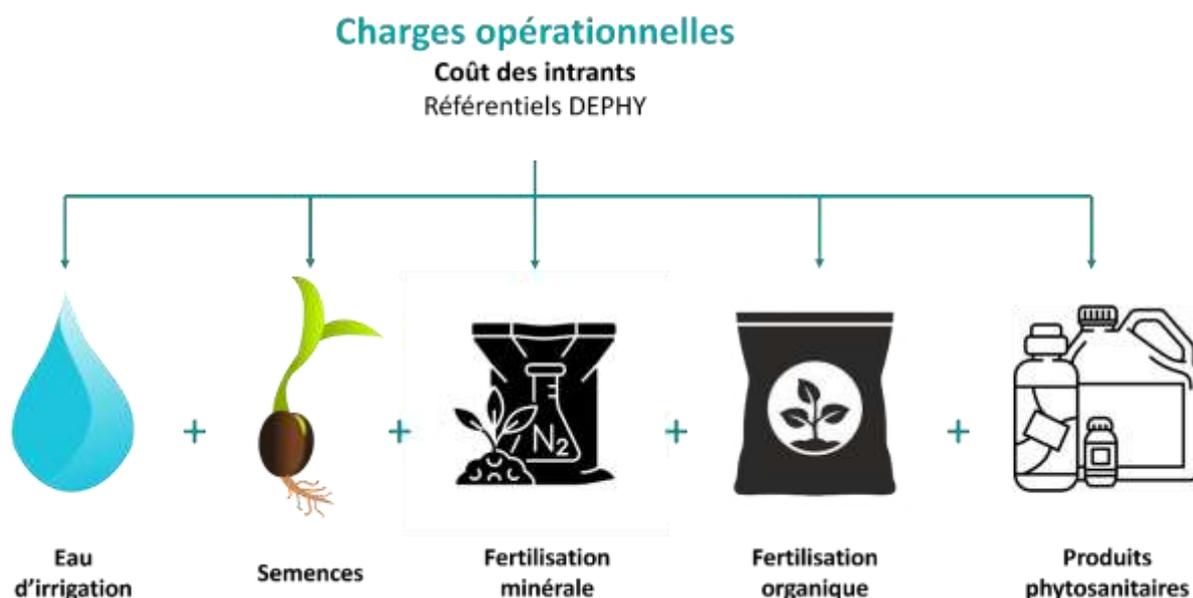
### 2.2.2. Les charges opérationnelles

Les coûts liés aux intrants sont généralement appelés charges opérationnelles. Ces charges comprennent l'ensemble des intrants de différentes natures que l'agriculteur est amené à acheter<sup>3</sup> afin de mener à bien son itinéraire technique. Les coûts associés ont été tirés directement, ou bien calculés, à partir des référentiels utilisés par le système d'information Agrosyst.

Dans le détail, les charges opérationnelles contiennent le coût de l'eau d'irrigation, le coût de la fertilisation (minérale et organique), le coût des semences (qui peuvent être certifiées ou non, pures ou en mélange), ainsi que le coût des produits phytosanitaires identifiés par leur numéro d'autorisation de mise sur le marché (AMM). Ces détails sont symbolisés dans la **Figure 1**.

Nous présentons ci-dessous le détail du calcul des charges pour chaque composante des charges opérationnelles, en donnant la ou les variables des enquêtes PK utilisées (le détail de toutes les variables est donné [sur le site du CASD](#)). Chaque composante des charges opérationnelles est exprimée en €/ha.

**Figure 1 : Détail des charges opérationnelles**



#### 2.2.2.1. L'eau d'irrigation

Dans les données des enquêtes PK, deux variables renseignent la quantité d'eau d'irrigation utilisée sur la parcelle : **MMEAU** (apport total de l'irrigation exprimé en mm) et **MCUBE** (apport total de l'irrigation en  $m^3$ ). La seconde n'étant quasiment jamais renseignée, nous avons utilisé la première.

Nous disposons de plus du référentiel Agrosyst des prix de l'eau d'irrigation, donnant le prix du mètre cube d'eau, selon la campagne.

<sup>3</sup> ... amené à 'faire entrer' dans son système depuis l'extérieur, d'où le terme d'intrant.

En rappelant qu'un mm d'eau représente 1L d'eau pour une surface d'un mètre carré, soit  $10\text{ m}^3/\text{ha}$ , les **charges (d'eau) d'irrigation** deviennent :

$$C_{irrig} = \text{MMEAU} \times 10 \times \text{prix}_{\text{eau}}$$

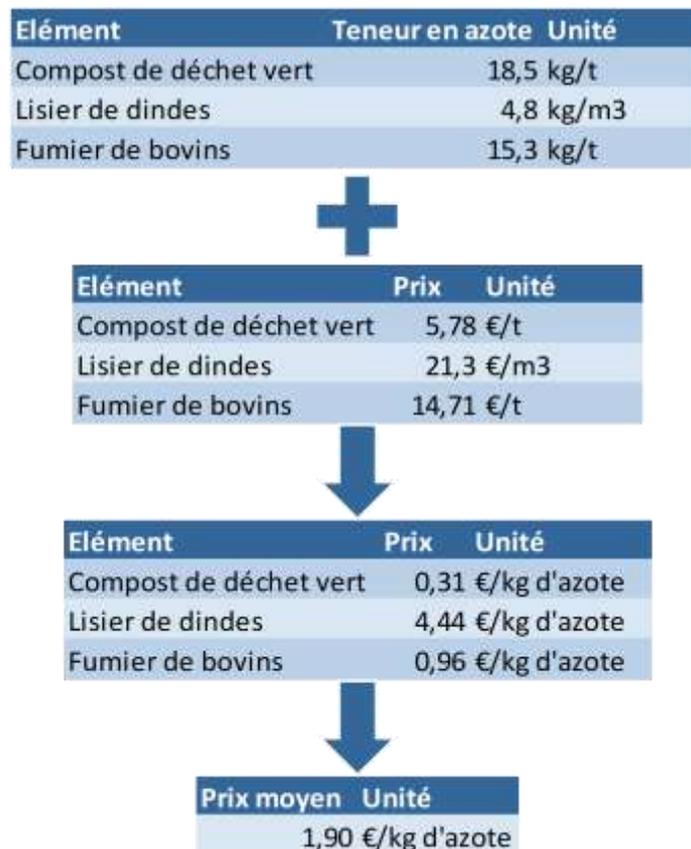
Avec  $\text{prix}_{\text{eau}}$  le prix issu du référentiel Agrosyst.

### 2.2.2.2. La fertilisation organique

Dans les enquêtes PK, seule la quantité d'azote est donnée pour la fumure organique. Cette dernière est donnée en kg/ha, par la variable **QNORGTOT**. Aucune indication n'est disponible quant à la présence d'autres éléments fertilisants (potassium, phosphore) organiques qui font parfois l'objet d'amendements irréguliers (apport de potasse organique issue de la filière betterave, par exemple).

Nous avons par ailleurs utilisé deux référentiels d'Agrosyst afin de déterminer un prix moyen de l'azote organique. Un premier donne le prix en euros par tonne ou par  $\text{m}^3$  de chaque élément de fumure organique (exemple : fumier de bovin, compost de déchets verts, etc.), et un second donne la teneur en azote de ces éléments, en kg par tonne ou par  $\text{m}^3$ . En tenant compte des unités, il est donc possible de calculer le coût du kg d'azote pour chaque élément. Nous avons enfin gardé le prix moyen du kg d'azote organique. A noter que les prix ne varient pas selon les campagnes. La Figure 2 donne un exemple du processus. Les valeurs de ces tableaux sont données à titre d'exemple et n'ont pas de valeur générique.

Figure 2 : Exemple d'obtention du prix moyen de l'azote organique



**Les charges de fertilisation organique** deviennent alors :

$$C_{fertiOrga} = QNORGTOT \times \text{prix}_{N\_orga}$$

Avec  $\text{prix}_{N\_orga}$  le prix moyen du kg d'azote organique calculé comme ci-dessus.

#### 2.2.2.3. La fertilisation minérale

De manière analogue à la fertilisation organique, nous disposons dans les enquêtes PK de variables donnant la quantité d'azote minérale en kg/ha, mais aussi de potassium, de phosphore, et de soufre (également en kg/ha). Ces variables sont respectivement **FUMQNTOT**, **FUMQKTOT**, **FUMQPTOT** et **FUMQSTOT**.

Dans le système d'information Agrosyst, il existe un référentiel donnant directement le prix au kilo de chacun de ces éléments, prix distingué selon la forme de la fumure minérale (granulé, liquide, etc.) et selon la campagne. Nous avons ainsi gardé le prix au kg moyen par élément et par campagne.

**Les charges de fertilisation minérale** deviennent alors :

$$C_{fertiMin} = \text{FUMQNTOT} \times \text{prix}_{N\_min} + \text{FUMQKTOT} \times \text{prix}_{K\_min} + \text{FUMQPTOT} \times \text{prix}_{P\_min} \\ + \text{FUMQSTOT} \times \text{prix}_{S\_min}$$

Avec N, K, P et S signifiant respectivement azote, potassium, phosphore et soufre, et  $\text{prix}_{N\_min}$  le prix moyen de l'azote minéral obtenu comme décrit ci-dessus (resp. K, P et S).

#### 2.2.2.4. Les semences et plants

Afin de déterminer le coût lié à l'achat des semences ou des plants, deux informations sont nécessaires : la densité de semis (par exemple : nombre de grain à l'ha ou kg de semence par ha), et l'origine des semences (semences certifiées ou de ferme). Dans les enquêtes PK, l'origine des semences est donnée par la variable **SEMPROV**, dont les modalités sont semences certifiées, semences de ferme ou mélange des deux. En cas de mélange, le détail de celui-ci (proportions) n'est pas donné. La densité de semis, elle, est donnée par différentes variables en fonction de la culture : **PLANHA** (nombre de plants à l'ha), **POIDSURF** (kg de semences à l'ha), **GRAINHA** (nombre de grain à l'ha) ou **GRUNITHA** (nombre d'unité de 100 000 semences à l'ha).

En parallèle, Agrosyst dispose d'un référentiel donnant les prix des semences au kg, en fonction de la culture, de la campagne et de l'origine des semences (ferme, certifiées, ou mélange). Le prix des semences ne tient pas compte de la distinction AB/conventionnel. Le prix étant donné au kg de semences pour toutes les cultures, il nous a fallu recalculer le poids de semences à l'ha dans les enquêtes PK lorsque ce dernier n'était pas donné. Dans la majorité de ces cas, la densité de semis est exprimée en nombre de grains à l'ha, et il est donc nécessaire de disposer du poids de mille grains (PMG). Pour la pomme de terre, il est nécessaire de disposer du poids moyen d'un plant. Les PMG ont été déterminés à dire d'expert et en nous référant aux valeurs disponibles sur internet, quand ces valeurs existaient (par exemple sur les fiches techniques des semences certifiées). Le poids moyen d'un plant a été déterminé suite à d'échanges avec des représentants de coopératives. Le Tableau 1 résume,

pour une sélection de cultures, le moyen de retrouver la densité de semis en kg/ha à partir des variables disponibles et du PMG. Le tableau donne également les valeurs de PMG retenues. Les cultures absentes de ce tableau n'ont, à ce jour, pas été intégrées.

Tableau 1 : PMG et calcul de la densité de semis en kg/ha

Culture	Variable PK densité de semis	Signification de la variable	Obtention du poids des semences (kg/ha)	Poids de mille grains (PMG) retenu (g)	Poids d'un plan (PUP) retenu (g)
Blé dur	POIDSURF	Poids des semences (kg/ha)	POIDSURF	Non nécessaire	Non nécessaire
Blé tendre					
Colza					
Orge					
Pois protéagineux					
Triticale	GRAINHA	Nombre de grains à l'ha	$\frac{GRAINHA}{1\ 000} \cdot \frac{PMG}{1\ 000}$	320	Non nécessaire
Maïs fourrage					
Maïs grain					
Tournesol					
Soja	GRAINM2	Nombre de grains au m2	$\frac{GRAINM2}{100} \cdot PMG$	180	Non nécessaire
Betterave sucrière	GRUNITHA	Nombre d'unités de 100 000 semences à l'ha	$\frac{GRUNITHA}{10} \cdot PMG$	15	Non nécessaire
Pomme de terre	PLANHA	Nombre de plants à l'ha	$PLANHA \cdot \frac{PUP}{1000}$	Non nécessaire	50

Une fois la densité de semences en kg par ha, **POIDSURF** calculée, **les charges de semences** deviennent :

$$C_{sem} = \mathbf{POIDSURF}_{cult} \times \text{prix}_{sem\_cult}$$

Avec  $cult$  variant dans les cultures mentionnées dans le tableau et  $\text{prix}_{sem\_cult}$  le prix du kg de semences de la culture  $cult$ .

#### 2.2.2.5. Les produits phytosanitaires

Dans les enquêtes PK, les traitements phytosanitaires sont décrits dans une table à part, nommée **PKGC2017 Phytos** (pour 2017). Cette table recense chaque passage de produit, et renseigne notamment la dose et le numéro d'autorisation de mise sur le marché (AMM par la suite) du produit utilisé. La dose de produit est systématiquement ramenée à l'ha. Les doses exprimées sont généralement en litre ou en kg par ha. La variable donnant le numéro d'AMM se nomme **AMMREF**.

Par ailleurs, Agrosyst dispose d'un référentiel du prix des produits phytosanitaires, donnant les prix au litre ou au kilo de produit, par AMM.

Dès lors, nous avons pu affecter un coût à chaque quantité utilisée de produits phytosanitaire en multipliant la dose à l'ha (variable **PHYTODOSHA\_RED**) au prix de l'AMM correspondant. Le lien avec le référentiel est fait grâce à la variable **AMMREF**. Le coût ainsi obtenu est exprimé en €/ha, et comprend le coût des produits uniquement (pas le coût de passage du pulvérisateur).

Finalement, les **charges de produits phytosanitaires**, pour une parcelle, sont définis comme :

$$C_{phyto} = \sum_P \text{PHYTODOSHA\_RED}_P \cdot \text{prix}_P$$

Avec  $P$  l'ensemble des produits appliqués sur la parcelle, identifiés par leur numéro d'AMM.

#### 2.2.2.6. Les charges opérationnelles totales

Les **charges opérationnelles totales**, qui correspondent au coût total de l'ensemble des intrants utilisés sur une parcelle au cours de la campagne, sont définies comme la somme des composantes précédemment décrites.

$$C_{ope} = C_{irrig} + C_{fertiOrga} + C_{fertiMin} + C_{sem} + C_{phyto}$$

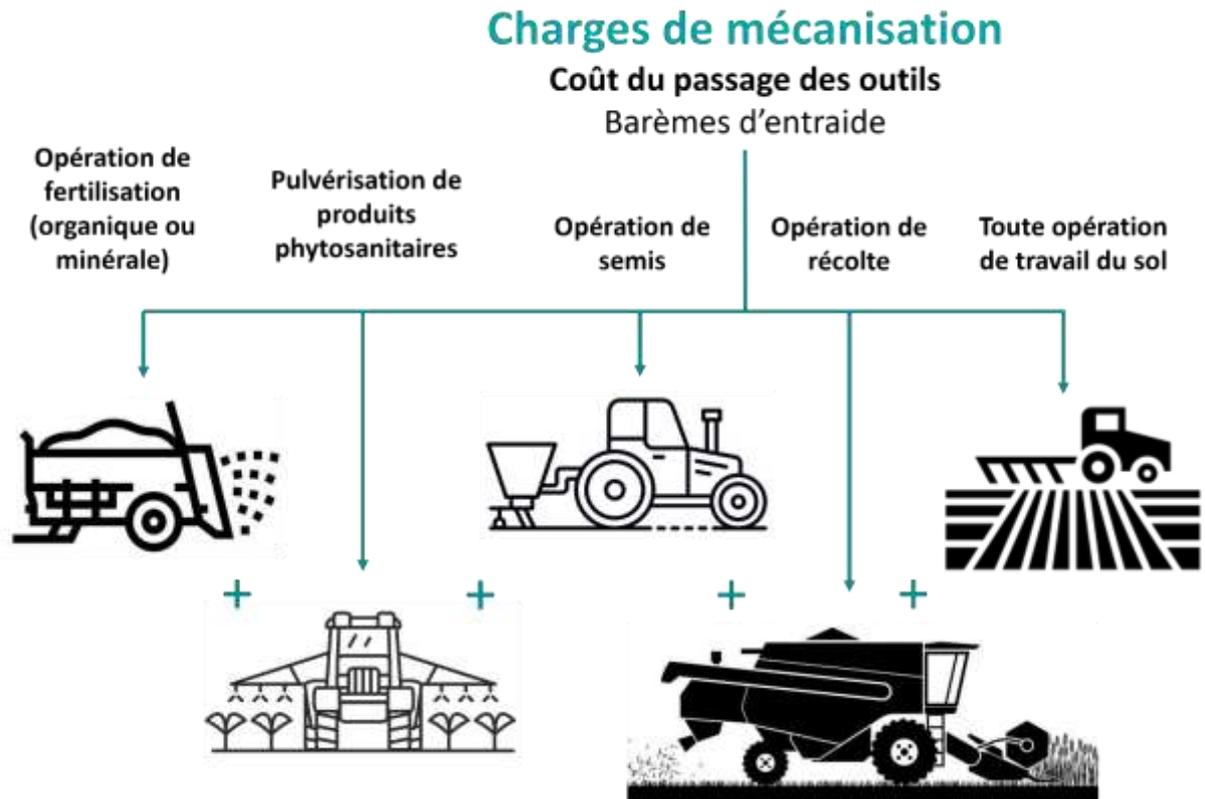
Il est important de noter que certains intrants échappent à cette définition. En particulier, les produits utilisés pour le traitement des semences sont recensés dans une autre table, dans les enquêtes PK (table **PKGC2017 TraitementSemences**). Le numéro d'AMM est bien disponible mais la table ne donne pas d'indication quant aux doses appliquées, ce qui ne permet pas de calculer le coût associé.

### 2.2.3. Les charges de mécanisation

Les charges opérationnelles décrites plus haut comprennent l'ensemble des intrants utilisés au sein d'une parcelle, mais ne prennent pas en compte le coût de passage des outils associés. A titre d'exemple, l'application d'un traitement phytosanitaire impose certes d'acheter le produit, mais aussi d'effectuer un passage de pulvérisateur. Or, tout passage d'outil a un coût. Pour les outils mécanisés dont il est ici question, ce coût comprend l'achat de l'outil, son entretien, sa dépréciation, sa traction (coût du tracteur et coût du carburant nécessaire), ainsi que la main d'œuvre agricole nécessaire au passage de l'outil.

Par ailleurs, si le système d'information Agrosyst comporte des référentiels bien adaptés à nos besoins pour les charges opérationnelles, les référentiels existants couvrant les charges de mécanisation ne sont pas directement adaptés aux variables et nomenclatures des enquêtes PK. Par ailleurs, les référentiels d'Agrosyst ne sont à jour que jusqu'à 2018, à la date d'écriture de la présente note. C'est pourquoi nous avons choisi d'utiliser les barèmes d'entraide agricole décrits plus haut, qui fournissent le détail des coûts d'un grand nombre d'interventions mécaniques différentes. Lesdits barèmes sont construits en suivant une méthodologie similaire à celle des référentiels utilisés par Agrosyst, à savoir la méthode de calcul de l'APCA. Les coûts indiqués dans les barèmes comprennent généralement le prix d'achat de l'outil, le coût du tracteur, la dépréciation du matériel, le coût du carburant et de la main d'œuvre, et dépendent de l'intensité d'utilisation, et donc généralement de la surface couverte ou du nombre de passage par an. Plus ce dernier est élevé, plus le coût à l'hectare diminue. Dans nos calculs, ces variations sont systématiquement moyennées. Par exemple, si un outil a des coûts de passage différents en fonction de trois surfaces couvertes par an (80ha, 120ha, 150ha par exemple), nous garderons le coût moyen. De plus, les coûts renseignés dans les barèmes sont généralement donnés pour des outils précis. Or, dans PK, seuls de grands types d'opérations de travail mécanisé sont disponibles. Ces grands types d'opérations sont décrits plus bas, et nous avons fait le choix de les décomposer de la manière suivante : passage d'un outil pour la fertilisation ou l'application d'un produit phytosanitaire, passage d'un outil pour le semis, passage d'un outil pour la récolte, et passage d'un outil pour le travail du sol. Ce découpage est symbolisé dans la **Figure 3**.

Figure 3 : Détail des charges de mécanisation



#### 2.2.3.1. Épandage d'engrais minéral

Dans les enquêtes PK, la variable **NBENGTOT** donne le nombre total de passages pour les apports d'engrais minéraux. Les barèmes d'entraide donnent plusieurs exemples de coûts de passage des distributeurs d'engrais par projection, en €/ha (outil, tracteur, dépréciation carburant et main d'œuvre comprise), dont on a retenu la moyenne. Les **charges mécaniques de fertilisation minérale** sont donc définies comme :

$$C_{mecaFertiMin} = \text{NBENGTOT} \times \text{prix}_{\text{distrib\_engrais}}$$

Avec  $\text{prix}_{\text{distrib\_engrais}}$  le prix moyen de passage d'un distributeur d'engrais par projection. Les valeurs numériques des prix moyen, minimums et maximum sont données plus bas.

#### 2.2.3.2. Épandage de fumure organique

Dans les enquêtes PK, la variable **NBPASFUMO** donne le nombre total de passages pour les apports en fumure organique. La majorité de ce type de passage étant effectué pour épandre du fumier ou du lisier, nous avons fait correspondre cette variable au coût moyen de passage des épandeurs de fumier et des épandeurs de lisier, dont nombre d'exemples sont donnés dans les barèmes. Les **charges mécaniques de fertilisation organique** sont donc définies comme :

$$C_{mecaFertiOrga} = \text{NBPASFUMO} \times (0.5 \cdot \text{prix}_{\text{epand\_fumier}} + 0.5 \cdot \text{prix}_{\text{epand\_lisier}})$$

Avec  $\text{prix}_{\text{epand\_fumier}}$  le prix moyen de passage d'un d'épandeur de fumier (resp. lisier).

### 2.2.3.3. Application de produit phytosanitaire

Dans les enquêtes PK, la variable **OPEPASTOT** donne le nombre total de passages pour les traitements phytosanitaires. Dans les barèmes, de nombreuses options de pulvérisation sont décrites et chiffrées : pulvérisateur porté, tracté, automoteur, de précision, etc. Nous avons choisi de garder le coût moyen des pulvérisateurs automoteurs légers (dits rapides). Les charges mécaniques liées aux traitements phytosanitaires deviennent alors :

$$C_{mecaPhyto} = \text{OPEPASTOT} \times \text{prix}_{\text{pulve}}$$

Avec  $\text{prix}_{\text{pulve}}$  le prix moyen du passage d'un pulvérisateur automoteur léger.

Le Tableau 2 donne les coûts moyens, minimums et maximums retenus des outils présentés jusqu'ici, permettant la distribution d'engrais minéral, l'épandage de fumure organique et l'application de produits phytosanitaires.

Tableau 2 : Coûts moyens, minimums et maximums des outils de traitement

Outil	Coût moyen (€/ha)	Coût minimum (€/ha)	Coût maximum (€/ha)
Pulvérisateur automoteur	11,76	8,8	16,2
Epandeur de lisier	73,98	61,2	91,3
Epandeur de fumier	46,47	30,6	66,1
Distributeurs d'engrais	7,76	4,5	14,4

Source : propre élaboration à partir des données CUMA AURA (2021)

### 2.2.3.4. Opération de semis

Pour la totalité des opérations mécanisées restantes, nous utilisons la table **PKGC2017 Meca**, qui donne un certain nombre d'informations quant aux interventions mécaniques sur la parcelle au cours de la campagne. Plus précisément, la table est constituée d'une ligne par intervention, et la variable **TYPMECA** renseigne, via un code, le type d'intervention réalisé. Pour les opérations de semis (de la culture principale, intermédiaire ou dérobée), plusieurs cas sont distingués : les semis directs, les semis non-combinés, les combinés de semis/préparation du sol, les combinés de semis/fertilisation et les combinés de semis/traitement phytosanitaire. Chacun de ces types de semis peut nécessiter des équipements différents, c'est pourquoi nous leur avons affecté un coût différent, en nous reposant sur les barèmes d'entraide. Les coûts sont également partiellement distingués selon les cultures : la pomme de terre et la betterave sucrière ayant besoin de matériel spécifique. A la date d'écriture de cette note, seuls les semis de la culture principale sont traités, et un travail d'amélioration reste possible pour la prise en compte des cultures dérobées. Sur les 153 355 interventions mécaniques recensées dans la table **PKGC2017 Meca**, 5 624 étaient catégorisées comme une opération de semis de culture intermédiaire ou dérobée (1 105 en semis direct, 2 643 en semis non-combinés, et 1 876 en combiné sol-semis).

#### 2.2.3.4.1. Semis direct

Dans les enquêtes PK, une intervention mécanique est un semis direct si la variable **TYPMECA** prend la valeur 611. Dans ce cas, pour la majorité des cultures, le coût associé est le coût moyen des nombreux exemples de passages de semoirs pour semis direct disponibles dans

les barèmes (CUMA AURA, 2021). Pour les betteraves sucrières ou pour la pomme de terre, l'hypothèse est faite qu'il est nécessaire d'utiliser un semoir spécifique, et le coup est similaire à celui d'une opération de semis non combiné (voir plus bas).

#### 2.2.3.4.2. Semis non-combinés

Dans les enquêtes PK, une intervention mécanique est un semis (ou une plantation) non-combiné si la variable **TYPMECA** prend la valeur 612 (culture principale) ou 622 (culture intermédiaire ou dérobée). Pour la majorité des cultures, le coût associé correspond à la moyenne des coûts de passage des semoirs mécaniques et des semoirs pour semis simplifiés répertoriés dans les barèmes (CUMA AURA, 2021). Pour la betterave, le coût associé est le coût moyen de passage des semoirs de betterave. Pour la pomme de terre, le coût moyen de passage des planteuses à pomme de terre.

#### 2.2.3.4.3. Combiné de semis – préparation du sol

Dans les enquêtes PK, une intervention mécanique est un combiné de semis avec de la préparation du sol si la variable **TYPMECA** prend la valeur 613 (culture principale) ou 623 (culture intermédiaire ou dérobée). Dans le barème utilisé jusqu'ici, trop peu d'exemples de combinés de semis – préparation du sol étaient présentés. Nous avons donc retenu, pour la majorité des cultures, le coût moyen de passage des combinés de ce type présenté dans [un autre barème](#) daté de la même année (2020-2021) et dont les coûts ont été calculés en suivant la même méthodologie (APCA, 2021). N'ayant en revanche pas trouvé d'exemples de combinés de semis – préparation du sol en pomme de terre ou en betterave sucrière dans les barèmes, nous avons affecté le même coût que pour un semis non-combiné.

#### 2.2.3.4.4. Combiné de semis – fertilisation

Dans les enquêtes PK, une intervention mécanique est un combiné de semis avec de la fertilisation si la variable **TYPMECA** prend la valeur 614 (culture principale). Pour la majorité des cultures, nous avons affecté le coût moyen de passage d'un semoir monograine avec fertilisation intégrée. De même pour la betterave sucrière, pour laquelle nous avons gardé le coût moyen de passage d'un semoir à betterave avec fertilisation intégrée. Pour la pomme de terre, des exemples de tels outils n'ont pas pu être trouvés, et nous avons fait le choix d'affecter le coût moyen de passage des planteuses de pommes de terre, auquel est ajouté le coût moyen de passage d'un fertiliseur tracté (en prenant garde à ne pas compter deux fois le coût du tracteur puisque les deux actions sont combinées).

#### 2.2.3.4.5. Combiné de semis – protection phytosanitaire

Dans les enquêtes PK, une intervention mécanique est un combiné de semis avec de la protection phytosanitaire si la variable **TYPMECA** prend la valeur 615 (culture principale). Pour toutes les cultures, nous avons affecté le coût du semis non-combiné (voir plus haut), auquel s'ajoute le coût moyen d'un pulvérisateur tracté. Les coûts liés à la traction ne sont pris en compte qu'une fois.

#### 2.2.3.4.6. Synthèse des opérations de semis

Les valeurs numériques moyennes, minimales et maximales retenues pour les différentes opérations de semis décrites plus haut sont données dans le Tableau 3. Tous les coûts sont donnés en euros par hectare. Les cultures rassemblées sous « Autres cultures » sont : le blé dur, le blé tendre, le colza, le lin fibre, le lin oléagineux, le maïs fourrage, le maïs grain, l'orge, le pois protéagineux, le soja, le tournesol et le triticale. Les cultures non citées ici ne sont pas traitées à la date de l'écriture de cette note.

Tableau 3 : Coûts moyens, minimums et maximums retenus pour les opérations de semis (€/ha)

Culture	Semis direct moyenne [min ; max]	Semis non-combiné moyenne [min ; max]	Combiné prep. sol moyenne [min ; max]	Combiné fertilisation moyenne [min ; max]	Combiné phyto moyenne [min ; max]
Betterave sucrière	40,49 [29,5 ; 53,3]	40,49 [29,5 ; 53,3]	40,49 [29,5 ; 53,3]	51,42 [42,8 ; 60,8]	48,81 [34,6 ; 65,7]
Pomme de terre	84,33 [74 ; 98]	84,33 [74 ; 98]	84,33 [74 ; 98]	88,2 [76,7 ; 103,5]	92,66 [79,1 ; 110,5]
Autres cultures	40,77 [30,2 ; 52,8]	31,83 [24,6 ; 56,2]	57,12 [31,4 ; 85,1]	36,62 [26 ; 49,3]	40,15 [19,7 ; 70,7]

Sources : propre élaboration à partir des données CUMA AURA (2021) et APCA (2021)

Finalement, le calcul des **charges mécaniques liées aux opérations de semis** au sein d'une parcelle, exprimées en €/ha, peut être écrit de la manière suivante :

$$C_{mecaSemis} = \sum_i [\mathbb{1}_{SD}(\mathbf{TYPMECA}_i) \cdot \text{prix}_{SD} + \mathbb{1}_{SnC}(\mathbf{TYPMECA}_i) \cdot \text{prix}_{SnC} + \mathbb{1}_{CPS}(\mathbf{TYPMECA}_i) \cdot \text{prix}_{CPS} + \mathbb{1}_{CF}(\mathbf{TYPMECA}_i) \cdot \text{prix}_{CF} + \mathbb{1}_{CP}(\mathbf{TYPMECA}_i) \cdot \text{prix}_{CP}]$$

Avec  $i$  l'intervention mécanique (on fait donc la somme des interventions sur la parcelle),  $\mathbf{TYPMECA}_i$  le type d'intervention mécanique (tel que défini par la variable **TYPMECA**),  $\mathbb{1}_{SD}(\mathbf{TYPMECA}_i)$  (resp.  $\mathbb{1}_{SnC}$ ,  $\mathbb{1}_{CPS}$ ,  $\mathbb{1}_{CF}$ , et  $\mathbb{1}_{CP}$ ) la fonction indicatrice qui vaut 1 si  $\mathbf{TYPMECA}_i$  indique un semis direct (resp. un semis non-combiné, un combiné préparation du sol, un combiné fertilisation et un combiné protection phytosanitaire), et  $\text{prix}_{SD}$  (resp.  $SnC$ ,  $CPS$ ,  $CF$  et  $CP$ ) le prix d'une opération de semis direct (resp. d'un semis non-combiné, d'un combiné préparation du sol, d'un combiné fertilisation et d'un combiné protection

phytosanitaire). Les prix sont sélectionnés en tenant compte des cultures, comme présenté dans le Tableau 3.

#### 2.2.3.5. Opération de récolte

Pour les récoltes, nous utilisons toujours la variable **TYPMECA** de la table **PKGC2017 Meca**. Une intervention est considérée comme une opération de récolte si la variable **TYPMECA** vaut 810 (récolte « simple ») ou 811 (récolte avec les menues pailles). A la date d'écriture de cette note, la récolte de la culture dérochée n'est pas traitée en raison du faible nombre d'occurrences dans les enquêtes (563 opérations de ce type recensées au total, sur 153 355 interventions mécaniques au total). Les coûts associés aux opérations de récolte dépendent assez largement des cultures. Nous avons rassemblé les cultures en groupes se voyant affecter le même coût de récolte, en raison d'un équipement nécessaire similaire : les céréales d'hiver (blé dur, blé tendre, orge et triticale), les oléagineux (colza, lin oléagineux et tournesol), les maïs grain, le maïs fourrage, les protéagineux/légumineuses (pois protéagineux et soja), le lin fibre, la betterave sucrière et la pomme de terre faisant cavaliers seuls. Les cultures non mentionnées ici ne sont pas traitées à la date d'écriture de cette note.

##### 2.2.3.5.1. Récolte sans les menues pailles

Pour les céréales d'hiver (blé, orge, triticale), le coût de la récolte correspond au coût moyen du passage d'une moissonneuse batteuse pour la coupe de céréale, dont les exemples ne manquent pas dans les barèmes (CUMA AURA, 2021). Pour les oléagineux (colza, tournesol et lin oléagineux), le coût de récolte correspond au coût moyen de passage des moissonneuses batteuses, auquel est ajouté le coût moyen d'une barre de coupe avancée pour colza ou tournesol (le tout en un passage). Pour les pois protéagineux et le soja, on ajoute au coût moyen du passage de la moissonneuse batteuse celui d'une barre de coupe pour pois. Pour les maïs grain, le coût de la récolte est fixé sur le coût moyen de passage des moissonneuses batteuse plus le coût moyen d'un cueilleur pour maïs. Pour le maïs fourrage, le coût moyen de passage d'une ensileuse automotrice est utilisé. Pour le lin fibre, la betterave et la pomme de terre, les barèmes donnent des exemples de coût de passage de matériel adapté (récolteuses de betterave ou de lin, arracheuses de pomme de terre). Encore une fois, ce sont les coûts moyens de passage de ces matériels qui sont gardés. Le Tableau 4 donne les coûts moyens, minimums et maximums retenus pour les opérations de récolte.

Tableau 4 : Prix moyens, minimums et maximums des opérations de récolte sans les menues pailles, par culture

Culture	Coût moyen (€/ha)	Coût minimum (€/ha)	Coût maximum (€/ha)
Blé dur	84,91	63	121
Blé tendre			
Orge			
Triticale			

Colza			
Tournesol	96,74	72,4	135,7
Lin oléagineux			
Pois protéagineux	105,72	81,1	165,8
Soja			
Maïs grain	108,67		
Maïs fourrage	148,93	82,2	149,3
Lin fibre	136,24	91	257
Betterave sucrière	223,57	119,2	362,2
Pomme de terre	328	204	477

Source : propre élaboration à partir des données CUMA AURA (2021)

#### 2.2.3.5.2. Récolte avec les menues pailles

La récolte des menues pailles reste très rare dans les enquêtes PK. Pour un certain nombre de culture, elle est même complètement absente. Ces cultures sont la betterave sucrière, la pomme de terre et le lin fibre. En conséquence, pour ces cultures, le coût de la récolte avec menues pailles reste inchangé par rapport à celui de la récolte sans menues pailles. Pour les autres cultures, le coût retenu est égal au coût de récolte classique, tel que défini plus haut, auquel on ajoute le coût moyen d'un récupérateur de menues pailles, dont des exemples sont donnés dans les barèmes (CUMA AURA, 2021 ). Le Tableau 5 ci-dessous donne les valeurs numériques retenues pour les coûts décrits dans ce paragraphe.

Tableau 5 : Prix moyens, minimums et maximums des opérations de récolte avec les menues pailles, par culture

Culture	Coût moyen (€/ha)	Coût minimum (€/ha)	Coût maximum (€/ha)
Blé dur			
Blé tendre	111,22	73,7	172,9
Orge			
Triticale			
Colza			
Tournesol	123,06	83,1	187,6
Lin oléagineux			
Pois protéagineux	132,04	91,8	215,7
Soja			
Maïs grain	134,99		
Maïs fourrage	175,25	92,9	200,2
Lin fibre	136,24	91	257
Betterave sucrière	223,57	119,2	362,2
Pomme de terre	328	204	477

Source : CUMA AURA (2021)

#### 2.2.3.5.3. Synthèse des opérations de récolte

Le calcul des **charges mécaniques liées aux opérations de récoltes** au sein d'une parcelle, exprimées en €/ha, peut être écrit de la manière suivante :

$$C_{mecaRec} = \sum_i [\mathbb{1}_{RSM}(\mathbf{TYPMECA}_i) \cdot \text{prix}_{RSM} + \mathbb{1}_{RaM}(\mathbf{TYPMECA}_i) \cdot \text{prix}_{RaM}]$$

Avec  $i$  l'intervention mécanique (on fait donc la somme des interventions sur la parcelle),  $\mathbf{TYPMECA}_i$  le type d'intervention mécanique (tel que défini par la variable **TYPMECA**),  $\mathbb{1}_{RSM}(\mathbf{TYPMECA}_i)$  (resp.  $\mathbb{1}_{RaM}$ ) la fonction indicatrice qui vaut 1 si  $\mathbf{TYPMECA}_i$  indique une récolte sans les menues pailles (resp. avec les menues pailles) et 0 sinon, et  $\text{prix}_{RSM}$  (resp.  $RaM$ ) le prix d'une opération de récolte sans les menues pailles (resp. avec les menues pailles). Les prix sont sélectionnés en tenant compte des cultures, comme présenté dans le Tableau 4 et le Tableau 5.

#### 2.2.3.6. *Opérations mécaniques de travail du sol*

Enfin, nous classons dans une dernière grande catégorie d'interventions mécaniques les opérations de travail du sol, quel que soit leur nature. Dans les enquêtes PK, elles sont identifiées par de nombreuses modalités de la variable **TYPMECA**. Ces modalités étant nombreuses, nous faisons ici le choix de ne pas rentrer dans le détail de chacune d'entre elle, d'autant que la manière de fixer le coût retenu est sensiblement la même à chaque fois. Nous ne donnerons donc qu'un exemple à titre indicatif, puis nous fournirons les valeurs numériques des coûts moyens, minimums et maximums comme nous l'avons fait jusqu'ici. La variable **TYPMECA**, bien qu'elle ne permette pas de connaître l'outil exact utilisé, donne le type dudit outil. Par exemple, si **TYPMECA** vaut 110, alors on sait que l'intervention était un « Travail superficiel du sol < 8 cm – Vibroculteur ». Nous avons alors identifié tous les exemples de coûts associés à des vibroculteurs dans les barèmes d'entraide, et nous avons gardé le coût moyen. Nous répétons cette action pour le plus grand nombre de type d'intervention possible.

Tableau 6 : Prix moyens, minimums et maximums retenus pour les opérations mécaniques restantes

Code PK	Type d'intervention	Coût moyen (€/ha)	Coût minimum (€/ha)	Coût maximum (€/ha)
100	Travail superficiel du sol < 8 cm - Déchaumeur Cultivateur à dents rigides	30,30	25,7	34,8
110	Travail superficiel du sol < 8 cm - Vibroculteur	32,21	20,9	40,1
120	Travail superficiel du sol < 8 cm - Sarcleuse Déchaumeur à disques	24,99	6,7	34,7
130	Travail superficiel du sol < 8 cm - Striptill	51,85	37,1	70,2
141	Travail superficiel du sol < 8 cm - Herse classique	20,73	16,6	27
142	Travail superficiel du sol < 8 cm - Herse animée Outil animé (dont herse rotative)	44,85	30,4	56,7
143	Travail superficiel du sol < 8 cm - Herse étrille	15,34	11,2	20,2
150	Travail superficiel du sol < 8 cm - Bineuse (ou sarcleuse)	29,68	15	49,5
160	Travail superficiel du sol < 8 cm – Désherbineuse	29,90	25,8	34
170	Travail superficiel du sol <8cm – Houe rotative Ecroûteuse	16,32	12,2	23,8
180	Travail superficiel du sol < 8 cm - Outil combiné désherbage mécanique et chimique	29,90	25,8	34
190	Travail superficiel du sol < 8 cm - Autres*	29,64	21,3	50,3
210	Travail superficiel du sol entre 8 et 15 cm - Déchaumeur Cultivateur à dents rigides	30,30	25,7	34,8
220	Travail superficiel du sol entre 8 et 15 cm - Déchaumeur animé	24,99	6,7	34,7
230	Travail superficiel du sol entre 8 et 15 cm - Pulvériseur, déchaumeur à disques	30,04	6,7	42,6
240	Travail superficiel du sol entre 8 et 15 cm - Striptill	51,85	37,1	70,2
250	Travail superficiel du sol entre 8 et 15 cm - Cultivateur animé ou herse animée Outil animé	54,03	30,4	69,1
260	Travail superficiel du sol entre 8 et 15 cm - Autres*	38,24	21,3	50,3
310	Travail profond du sol sans retournement (>15 cm) - Soussoleuse	60,00	40,7	89,6
320	Travail profond du sol sans retournement (>15 cm) - Décompacteur	60,00	40,7	89,6
330	Travail profond du sol sans retournement (>15 cm) - Cultivateur, lourd ou chisel, cultivateur à dents et disques	47,87	33	93,4
340	Travail profond du sol sans retournement (>15 cm) - Cultivateur léger Strip till	51,85	37,1	70,2
350	Travail profond du sol sans retournement (>15 cm) - Pulvériseur à disques	35,09	30,3	42,6
360	Travail profond du sol sans retournement (>15 cm) - Roto bêche Machine à bêcher	33,57	33,6	33,6
370	Travail profond du sol sans retournement (>15 cm) - Charrue à disques	78,42	45,1	118,9

380	Travail profond du sol sans retournement (>15 cm) - Autres*	52,40	37,2	76,8
410	Labour - charrue à versoirs	78,42	45,1	118,9
420	Labour - charrue à disques	78,42	45,1	118,9
430	Labour - autres	78,42	45,1	118,9
510	Roulage - rouleau lisse	18,89	13,1	26,8
520	Roulage - rouleau non lisse couteau (« rolo faca »)	27,20	24,9	29,8
530	Roulage - autres	23,05	19	28,3
711	Butage Billonneuse	51,96	32,6	92
712	Défanage	66,77	63,5	70,6
731	Broyage des pierres**	97,67	91	105
732	Broyage des végétaux	50,29	24,4	83,1
740	Ecimeuse	29,66	17,2	45,2
750	Export des pierres**	135,33	92	158
815	(Lin fibre) Arrachage	109,44	91	132
816	(Lin fibre) Retournage	121,33	93	153
817	(Lin fibre) Enroulage	191,33	152	257

Source : CUMA AURA (2021)

Notes : \* Pour les types d'intervention "autres", la valeur retenue est la moyenne des valeurs de la même catégorie. Par exemple, le coût moyen retenu pour le type d'intervention "Travail superficiel du sol < 8 cm - Autres" est la moyenne des coûts de la catégorie "Travail superficiel du sol < 8 cm".

\*\* Pour le broyage et l'export des pierres, le coût est donné en €/h, et non en €/ha.

Les **charges mécaniques restantes**,  $C_{opeMeca}$  correspondent donc à la somme du nombre d'interventions de chaque type (tel que défini par la variable **TYPMECA**) multiplié par le coût moyen de l'intervention en question, tel que répertorié dans le Tableau 6.

#### 2.2.3.7. Les charges de mécanisation totales

A l'image des charges opérationnelles totales, les **charges de mécanisation totales** consistent en la somme de chacune des composantes décrites depuis le paragraphe 2.2.3 :

$$C_{meca} = C_{mecaFertiMin} + C_{mecaFertiOrga} + C_{mecaPhyto} + C_{mecaSemis} + C_{mecaRec} + C_{opeMeca}$$

Du fait de la méthodologie utilisée pour l'estimation du coût des interventions culturales, les charges de mécanisation décrites ici comprennent les charges fixes (dépréciation du matériel, frais d'assurance et frais de remisage), les charges variables (coûts liés à l'entretien, aux réparations et aux vidanges), les coûts liés au carburant et ceux liés à la main d'œuvre (CUMA AURA, 2021).

#### 2.2.4. Les marges

A partir des variables économiques définies dans cette partie, nous introduisons deux nouvelles variables économiques, correspondant au produit brut auquel on soustrait différentes charges : la marge brute et la marge nette.

##### 2.2.4.1. Marge brute

La marge brute correspond au produit brut auquel on soustrait les charges opérationnelles, soit les coûts liés aux intrants. Formellement, **la marge brute** est définie comme :

$$M_{brute} = P_{brut} - C_{ope}$$

##### 2.2.4.2. Marge nette

La marge nette correspond au produit brut auquel on soustrait les charges opérationnelles liées aux intrants et les charges de mécanisation liées aux passages des outils. Outre les manques ponctuels inhérents à notre méthodologie (voir plus bas), nos calculs ne prennent pas en compte tout un pan de la comptabilité des exploitations : foncier, emprunts, etc. Formellement, **la marge nette** est définie comme :

$$M_{nette} = M_{brute} - C_{meca}$$

### 3. Les principales limites identifiées et pistes d'amélioration

La méthodologie présentée ici comporte de fait des limites, sur lesquelles il nous faudra porter une attention particulière. Comme elles concernent aussi bien le produit brut que les montant des charges, il n'est pas aisé de savoir si notre méthode conduit - en moyenne - à donner des estimations par défaut ou par excès. Un point sensible concerne l'écart entre la durée de vie théorique et la durée de vie pratiquée d'un équipement. On considère généralement un amortissement linéaire sur 15 ans mais l'interprofession des agroéquipementiers montre dans un travail de synthèse de l'équipement de la 'ferme France' que les pratiques réelles peuvent être assez éloignées. Avec les aides, l'équipement est de plus rarement acheté à son prix catalogue et il existe de plus un marché assez actif de l'occasion reconditionné.

Ce que nous avons noté dans ce qui précède, au cours du déroulé de la méthodologie, concerne les points suivants :

- Les charges opérationnelles ne tiennent pas compte du coût induit par le traitement des semences, en l'absence d'information sur la dose de produit appliquée.
- Les charges de mécanisation ne comportent pas les charges fixes liés à l'irrigation (seule l'eau d'irrigation est prise en compte dans les charges opérationnelles), pour lesquels il n'existe pas, à la connaissance des auteurs, de variable dans les enquêtes PK.
- Les charges de mécanisation ne comportent pas les coûts de transports, pour lesquels il n'existe pas, à la connaissance des auteurs, de variable dans les enquêtes PK.
- La méthodologie mobilisée pour estimer les coûts des opérations culturales ne distinguent pas l'usage très superficiel (< 8cm de profondeur) d'un déchaumeur (par exemple) d'un usage un peu plus profond (entre 8cm et 15cm). Nous avons donc affecté le même coût aux mêmes types d'intervention effectués à un niveau de profondeur différents. Or, il est raisonnable de supposer qu'un travail plus profond implique des coûts supérieurs (usure plus forte, nécessité d'une traction plus puissante, dépense en carburant plus élevée, etc.).
- Les semis et les récoltes des cultures intermédiaires ou dérobées ne sont actuellement pas pris en compte.

#### 4. Eléments de vérification

Nous avons dans un premier temps cherché à vérifier les ordres de grandeur des différents indicateurs obtenus sur les enquêtes PK. Pour cela, nous avons comparé les valeurs moyennes obtenues sur les données PK avec les moyennes des mêmes indicateurs calculés sur les données du réseau DEPHY, sur la base des parcelles enregistrées entre 2009 et 2021. La comparaison a été menée sur les seules charges (opérationnelles et de mécanisation), dans la mesure où le produit brut ne fait pas d'hypothèse importante au-delà du prix des récoltes.

Quand c'était possible, nous avons également cherché à comparer les valeurs moyennes avec celles avancées dans des synthèses publiques disponibles par ailleurs. Deux synthèses ont été mobilisées :

- Une synthèse de l'outil Mes Parcelles de 2017, publiée par la Chambre d'Agriculture des Hauts-de-France (Mes Parcelles, 2017)
- Une synthèse des marges brutes des cultures de 2020 publiée par la chambre d'agriculture du Pays de la Loire (Chambre d'agriculture du Pays de la Loire, 2020)

Ces deux synthèses ont été retenues car elles présentaient des résultats unifiés pour plusieurs cultures (mêmes définitions, méthodes de calcul, etc.). En revanche, elles ne présentaient qu'une estimation des charges opérationnelles, et non des charges de mécanisation. De plus, ces deux synthèses n'incluaient pas les coûts liés à l'eau d'irrigation dans les charges opérationnelles, à la différence de la présente méthode. Le **Tableau 7** donne les valeurs des charges opérationnelles et de mécanisation pour PK, DEPHY, et, si possible, pour les deux synthèses mentionnées.

Pour les charges opérationnelles, on constate que les ordres de grandeur obtenus sont proches de ceux des données DEPHY, bien que ponctuellement supérieures (colza et soja par exemple). Ce constat persiste pour la comparaison aux deux synthèses, bien que toutes les cultures n'y soient pas présentes.

Pour les charges de mécanisation, l'absence de synthèse uniformisée couvrant plusieurs cultures nous a poussé à effectuer la comparaison avec les données DEPHY uniquement. Là encore, les ordres de grandeur sont respectés. Ceci nous permet de croire que l'application de la présente méthodologie aux données des enquêtes PK permet de retrouver des valeurs cohérentes, une fois moyennées. A noter que la comparaison n'a été effectuée que pour les parcelles en conventionnel.

Tableau 7 : Comparaison des valeurs des charges obtenues avec différentes sources

	Charges opérationnelles (€/ha)				Charges de mécanisation (dont MO tractoriste) (€/ha)	
	PK 2017	DEPHY	MP 2017*	CAL 2020**	PK 2017	DEPHY
Blé tendre	398	360	374	404	354	351
Orge	360	364	335	409	368	354
Triticale	334	313		356	333	334
Maïs grain	436	395	370	369	405	413
Maïs fourrage	472	394		-	429	451
Tournesol	208	208		307	374	348
Soja	392	252		-	367	392
Colza	507	425	419	403	404	358
Pois protéagineux	399	378	365	398	418	298

Source : données du SI Agrosyst (2009 à 2021) et enquêtes PK grandes cultures 2017

\* Document de synthèse de l'outil Mes Parcelles de 2017 détaillant les charges opérationnelles d'un certain nombre de cultures<sup>4</sup>

\*\* Document de synthèse de l'année 2020 de la Chambre d'Agriculture du Pays de la Loire détaillant les charges opérationnelles d'un certain nombre de cultures<sup>5</sup>

<sup>4</sup> [https://nord-pas-de-calais.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user\\_upload/Hauts-de-France/029\\_Inst-Hauts-de-France/Exploitation-agricole/Rubrique\\_economique/Synthese\\_regionale\\_mes\\_Parcelles\\_2017\\_VF.pdf](https://nord-pas-de-calais.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Hauts-de-France/029_Inst-Hauts-de-France/Exploitation-agricole/Rubrique_economique/Synthese_regionale_mes_Parcelles_2017_VF.pdf)

<sup>5</sup> [https://pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user\\_upload/National/FAL\\_commun/publications/Pays\\_de\\_la\\_Loire/2021/2021\\_Marge\\_brute\\_des\\_cultures\\_de\\_vente\\_recolte\\_2020.pdf](https://pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Pays_de_la_Loire/2021/2021_Marge_brute_des_cultures_de_vente_recolte_2020.pdf)

## 5. Discussion et perspectives

### 5.1 Fiabilité

Nous décrivons dans cette note méthodologique le moyen que nous avons employé afin de pouvoir attacher une estimation d'ordre économique à la description d'un itinéraire technique tel que décrit dans les enquêtes PK. Selon nous, il s'agit d'une avancée importante puisqu'on ne peut bien comprendre les choix des agriculteurs que si l'on est en mesure de saisir cette composante majeure de maximisation de leurs gains dans leur décision.

Nous avons vu au cours du déroulé que de nombreuses approximations étaient de mise mais dont l'impact reste d'ampleur limitée dès que l'on traite un nombre élevé de situations.

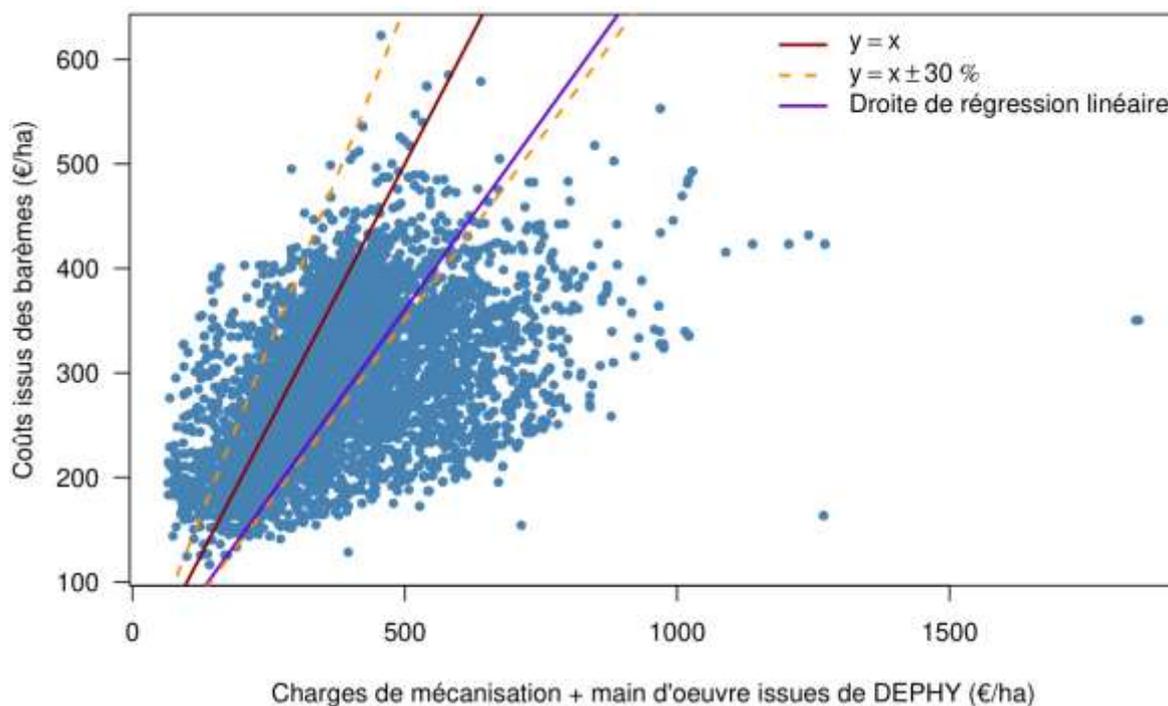
Il se peut qu'il reste des biais, notamment dans l'estimation des charges de mécanisation, pour lesquelles nous travaillons à partir de prix moyens pour le passage de différentes catégories d'outils. Nous avons aussi vu que l'équipement de la ferme France pouvait être plus vieux que ce que ce qui est potentiellement considéré dans les référentiels, ce qui peut conduire à surestimer la valeur de son amortissement.

Pour toutes ces raisons, nous nous sommes efforcés de tester la fiabilité de notre approche relativement à un calcul mené classiquement de bout en bout. Pour ce faire, nous avons comparé le montant des charges de mécanisation estimé par l'approche décrite dans la présente note à celui automatiquement calculé par le SI Agrosyst. Il est important de souligner que les descriptions des pratiques dans PK et dans le réseau DEPHY diffèrent, notamment en termes de découpage et pratiques prises en compte. Aussi savons-nous que la base de comparaison n'est pas parfaite mais c'est la plus sensée que nous avons.

La **Figure 4** ci-dessous croise les estimations directes (calculées automatiquement par le SI Agrosyst) des charges de mécanisation à celles que nous obtenons par application de notre méthode sur 11 403 parcelles de blé tendre d'hiver, conduites entre 2008 et 2021 au sein du réseau DEPHY. On constate que :

- 1- Il existe une corrélation entre les deux approches, qui paraît linéaire avec un peu d'homoscédasticité (la variance augmente avec la moyenne).
- 2- La répartition au-dessus et en dessous de la première bissectrice suggère que l'on aurait tendance, en moyenne, à sous-estimer les charges avec notre approche par rapport au calcul direct effectué dans SI Agrosyst. En revanche, nous rappelons que les découpages et les types d'opérations mécaniques considérés ne sont que partiellement recouvrant, ce qui explique sans-doute en partie cette sous-estimation.
- 3- En médiane sur l'ensemble des parcelles considérées, notre estimation est inférieure à celle réalisée automatiquement par Agrosyst de près de 50€/ha, à rapprocher d'autres sources d'incertitudes. A titre d'illustration, une variation de  $\pm 5\%$  sur le prix de vente de la production de blé tendre conduit à une marge de fluctuation de  $\pm 70$  € de la marge nette.

Figure 4 : Comparaison des charges de mécanisation des exploitations du réseau DEPHY estimées par cette approche avec celles calculées automatiquement par Agrosyst



On l'aura compris, on ne peut attendre une évaluation parfaite d'une démarche volontairement simplifiée. On pense toutefois que la méthodologie proposée présente une certaine robustesse et, qu'à ce titre, elle gagne à être partagée et réutilisée.

## 5.2 Quelle utilisation pour cette méthodologie ?

La méthodologie déployée dans cette note a été conçue pour appuyer des analyses technico-économiques relatives à la mobilisation d'alternatives au S-métolachlore (Reboud et al., 2022) et au prosulfocarbe (Reboud et al., 2023), destinées à appuyer les politiques publiques dans l'hypothèse d'évolutions réglementaires concernant ces molécules. Toutefois, elle pourrait être mobilisée pour traiter un spectre plus large de problématiques. En effet, elle ne nécessite pas de faire d'hypothèse forte sur le périmètre de son utilisation. Dès que l'on sait différencier deux ou plus groupes de pratiques conduites par les agriculteurs mutuellement exclusifs, on peut mener la comparaison des implications tant d'un point de vue technique que d'un point de vue économique.

On présente ci-dessous la sortie typique d'une analyse faite en mobilisant l'approche décrite pour évaluer les conséquences technico économiques de la mobilisation d'un herbicide dont on cherche à se passer en mobilisant des alternatives.

**Tableau 8 : Exemple d'analyse technico-économique contrastant l'usage (groupe 1) au non usage (groupe 2) d'un herbicide en culture de blé tendre**

	Nombre de parcelles	Surfaces extrapolées (ha)	Rendement (q/ha)	Nombre de passage de désherbage mécanique	IFT herbicide	IFT total	Produit brut (€/ha)	Charges opérationnelles (€/ha)	Charges de mécanisation (€/ha)	Marge nette (€/ha)
<b>Groupe 1</b>	498	1 516 413	77,73	0,01	2,14	5,69	1 398,83	432,02	366,24	600,57
<b>Groupe 2</b>	2 777	5 950 326	76,63	0,02	1,74	5,13	1 380,36	401,80	362,38	616,17
<b>ATE</b>			1,10	- 0,02	0,40	0,56	18,47	30,21	3,86	- 15,60
<b>Ecart-type</b>			1,38	0,01	0,07	0,13	27,41	13,11	6,54	31,77
<b>Significativité</b>			ns	*	***	***	ns	*	ns	ns

Source : propre élaboration à partir des données PK Grandes cultures 2014/2017, des référentiels de prix issus du SI Agrosyst et des barèmes d'entraide (APCA, 2021 ; CUMA AURA, 2021).

Note : la confiance dans l'effet suspecté est donnée par l'intensité de la couleur

Le **tableau 8** donne de manière très synthétique le genre de résultat auquel on aboutit. Les premières colonnes précisent les implications techniques des choix d'utiliser ou pas la molécule étudiée et les colonnes suivantes synthétisent les implications économiques résultantes. On notera que ce type de tableau ne cherche pas à démontrer d'effet direct mais plutôt à explorer les corrélations une fois les effets confondants de tierces variables retirés.

Ici appliqué à un usage de pesticide, le même procédé peut être mobilisé pour toute autre variation contrastée dans le choix des pratiques agronomiques comme la date d'un semis ou le recours à des mélanges de variétés plutôt qu'à des variétés pures. Aussi le potentiel de mobilisation de l'approche est-il important. Le principe de faire appel à des référentiels de prix et des barèmes est sans doute moins élégant et moins performant dans les cas où l'on peut conduire directement l'analyse économique au plus proche de la situation, mais il permet d'associer une estimation économique moyenne plausible en première approche. Sur un effectif important, il autorise sans doute à mieux saisir ce qui peut conduire les agriculteurs à craindre ou privilégier telle ou telle option : selon leur contexte, il peut ou non être acceptable de viser un rendement plus faible sans perte de rentabilité. Une autre application potentielle serait de visualiser le prix de vente minimum ou le montant de compensation financière à envisager pour orienter le choix des agriculteurs vers une option qui serait par ailleurs souhaitable car source de retombées positives sur des valeurs non directement marchandes, cumulatives ou différées comme l'impact sur la santé animale et humaine ou la biodiversité présente dans les parcelles.

## Références

- APCA (2021). Matériels agricoles. Coûts des opérations culturales 2021. Un référentiel pour le calcul des coûts de production et le barème d'entraide. [https://chambres-agriculture.fr/fileadmin/user\\_upload/National/FAL\\_commun/publications/National/cout\\_operations\\_2021.pdf](https://chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/National/cout_operations_2021.pdf)
- Chambre d'agriculture du Pays de la Loire (2020). Marges brutes des cultures de vente. Récolte 2020 (+ rappel 2019). [https://pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user\\_upload/National/FAL\\_commun/publications/Pays de la Loire/2021/2021\\_Marge\\_brute\\_des\\_cultures\\_de\\_vente\\_recolte\\_2020.pdf](https://pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Pays_de_la_Loire/2021/2021_Marge_brute_des_cultures_de_vente_recolte_2020.pdf)
- CUMA AURA (2021). Barème d'entraide 2020-2021. <http://www.aura.cuma.fr/actualites/bareme-dentraide-2020-2021>
- Mes Parcelles (2017). Synthèse Régionale Mes Parcelles Récolte 2017. [https://nord-pas-de-calais.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user\\_upload/Hauts-de-France/029\\_Inst-Hauts-de-France/Exploitation-agricole/Rubrique\\_economique/Synthese\\_regionale\\_mes\\_Parcelles\\_2017\\_VF.pdf](https://nord-pas-de-calais.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Hauts-de-France/029_Inst-Hauts-de-France/Exploitation-agricole/Rubrique_economique/Synthese_regionale_mes_Parcelles_2017_VF.pdf)
- Reboud, X., Tysebaert, M., Fayolle, B. Alternatives au S-métolachlore et étude de leur mobilisation. INRAE. 17 septembre 2022. 203 p. [Rapport de recherche] INRAE Dijon Agroécologie; (DPA3P) - Dispositif Pérenne d'Appui aux Politiques Publiques sur les Pesticides. 2022. <https://hal.inrae.fr/hal-03807462>
- Reboud X., Tysebaert M. et Fayolle B. (2023) Alternatives au prosulfocarbe et étude de leur mobilisation. INRAE. 17 mars 2023. 146 p. [Rapport de recherche] INRAE Dijon Agroécologie; (DPA3P) - Dispositif Pérenne d'Appui aux Politiques Publiques sur les Pesticides. 2023. <https://hal.inrae.fr/hal-04050806>
- Soleilhavoup, M., & Crisan, M. (2020). Enquête pratiques culturales en grandes cultures 2017. Principaux résultats. <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/Chd2009/detail/>



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la date de sa publication, et son URL).