Evaluation fine des performances énergétiques des entreprises agricoles par l'utilisation des NTIC

Responsables du projet : Emilie DONNAT – ACTA
149, rue de Bercy – 75595 PARIS Cedex 12
Tél. 01 40 04 50 40
Mél : emilie.donnat@acta.asso.fr

Vincent ABT puis Jean-Pierre CHANET – Cemagref
24 avenue des Landais, BP 50085 – 63172 AUBIÈRE
Mél : jean-pierre.chanet@cemagref.fr

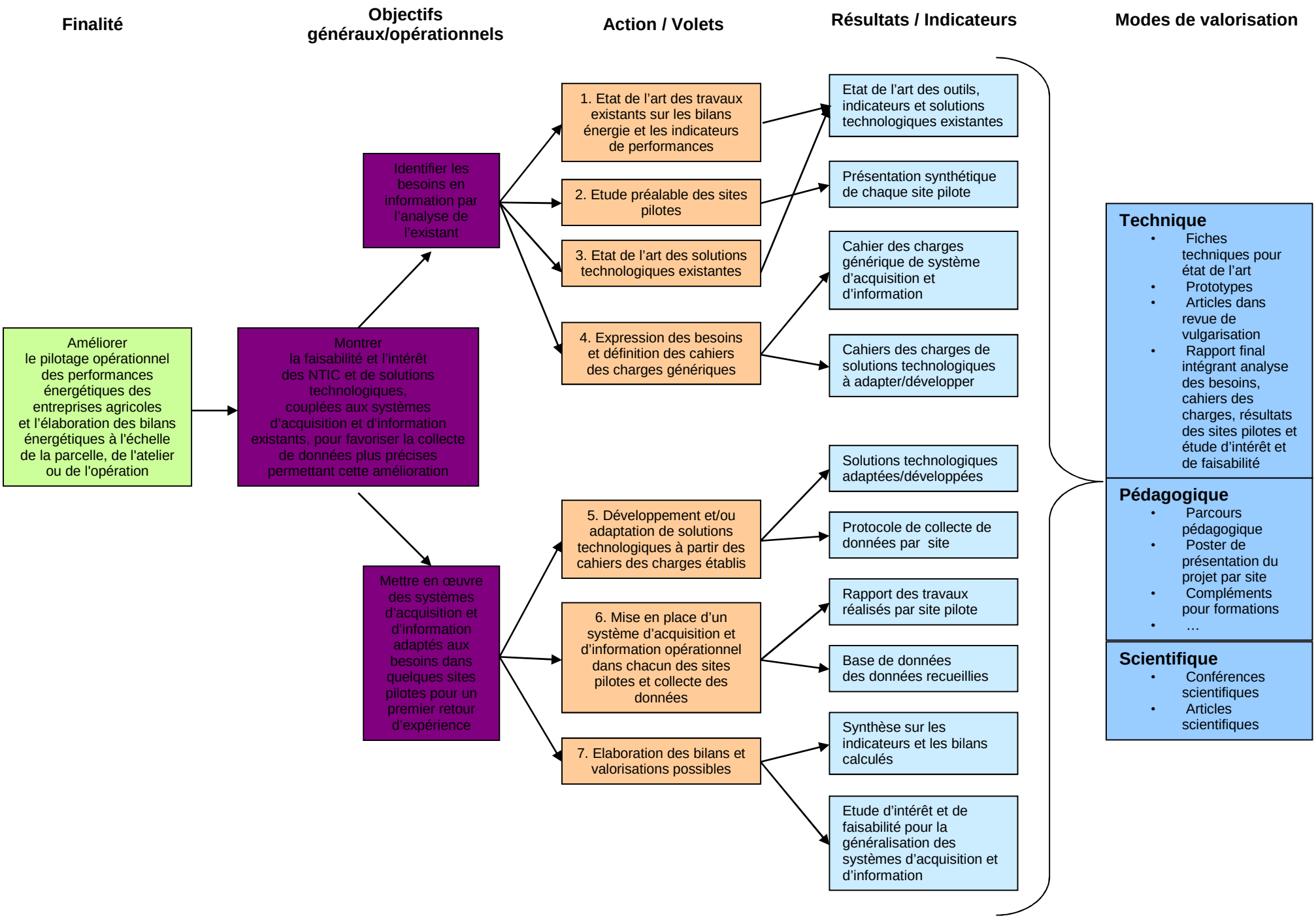
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE LA PÊCHE
avec la contribution financière du compte d'affectation spéciale "Développement agricole et rural"

Décembre 2011

Introduction

En s'appuyant sur les Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (NTIC) (capteurs bas-coûts, réseaux sans fil, entrepôts de données, etc.), ce document de synthèse réalisé à partir des résultats acquis dans le projet EnergéTIC (CASDAR IP 2008) a pour objectif de montrer la faisabilité et l'intérêt de solutions technologiques, couplées aux systèmes d'acquisition et d'information existants dans les exploitations agricoles, pour permettre d'acquérir en routine des données opérationnelles pour le pilotage opérationnel des performances énergétiques des exploitations agricoles et l'élaboration de bilans énergétiques plus fins à l'échelle de la parcelle, de l'atelier de production ou de l'opération.

Dans le contexte européen et mondial actuel, les enjeux de développement durable, de préservation des ressources naturelles et de lutte contre le changement climatique affectent directement le secteur agricole et plus particulièrement les entreprises agricoles. Concernées par chacun de ces enjeux, les dépenses énergétiques des entreprises agricoles sont ainsi au cœur des préoccupations actuelles. Que les dépenses énergétiques soient directes (consommation d'énergie fossile par les agroéquipements, consommation d'électricité pour les bâtiments, etc.) mais aussi indirectes (apport d'aliments, apport de fertilisants), il est aujourd'hui important d'évaluer et de quantifier ces postes de dépenses pour améliorer les performances énergétiques mais aussi économiques des entreprises agricoles. Cette évaluation passe notamment par l'élaboration de bilans énergie (et matière) qui constitue un enjeu fort pour la maîtrise des coûts d'exploitation et la maîtrise des impacts des activités agricoles sur l'environnement. Les bilans sont en général établis à l'échelle globale de l'entreprise agricole faute de données plus précises sur les flux d'énergie et de matières dans l'entreprise agricole. Les récentes avancées technologiques (capteurs embarqués, localisation GPS, communication et réseaux sans fil) et le déploiement de systèmes d'acquisition et d'information dans les entreprises agricoles permettent d'envisager aujourd'hui d'accéder en continu à des données de qualité, en quantité suffisante et à une échelle plus fine de gestion (opération, parcelle, mois, semaine). Parmi les travaux en cours et permettant d'alimenter les choix techniques, technologiques et scientifiques dans le cadre de ce projet, notons ceux sur l'évaluation des consommations d'énergie et les bilans énergétiques, les Analyses du Cycle de Vie (ACV) et les référentiels ACV, la modélisation des flux dans l'entreprise agricole, les systèmes d'acquisition et de communication de données et les entrepôts de données.


Finalité
Objectifs généraux/opérationnels
Action / Volets
Résultats / Indicateurs
Modes de valorisation
Améliorer le pilotage opérationnel des performances énergétiques des entreprises agricoles et l'élaboration des bilans énergétiques à l'échelle de la parcelle, de l'atelier ou de l'opération
Montrer la faisabilité et l'intérêt des NTIC et de solutions technologiques, couplées aux systèmes d'acquisition et d'information existants, pour favoriser la collecte de données plus précises permettant cette amélioration
Identifier les besoins en information par l'analyse de l'existant
Mettre en œuvre des systèmes d'acquisition et d'information adaptés aux besoins dans quelques sites pilotes pour un premier retour d'expérience
1. Etat de l'art des travaux existants sur les bilans énergie et les indicateurs de performances
2. Etude préalable des sites pilotes
3. Etat de l'art des solutions technologiques existantes
4. Expression des besoins et définition des cahiers des charges génériques
5. Développement et/ou adaptation de solutions technologiques à partir des cahiers des charges établis
6. Mise en place d'un système d'acquisition et d'information opérationnel dans chacun des sites pilotes et collecte des données
7. Elaboration des bilans et valorisations possibles
Etat de l'art des outils, indicateurs et solutions technologiques existantes
Présentation synthétique de chaque site pilote
Cahier des charges générique de système d'acquisition et d'information
Cahiers des charges de solutions technologiques à adapter/développer
Solutions technologiques adaptées/développées
Protocole de collecte de données par site
Rapport des travaux réalisés par site pilote
Base de données des données recueillies
Synthèse sur les indicateurs et les bilans calculés
Etude d'intérêt et de faisabilité pour la généralisation des systèmes d'acquisition et d'information
Technique
• Fiches techniques pour état de l'art
• Prototypes
• Articles dans revue de vulgarisation
• Rapport final intégrant analyse des besoins, cahiers des charges, résultats des sites pilotes et étude d'intérêt et de faisabilité
Pédagogique
• Parcours pédagogique
• Poster de présentation du projet par site
• Compléments pour formations
• …
Scientifique
• Conférences scientifiques
• Articles scientifiques

1- Etat de l'art des outils, indicateurs, données et des solutions technologiques existantes pour l'évaluation des performances énergétiques

- **Identifier les différents outils de diagnostic permettant d'évaluer les performances énergétiques des exploitations agricoles**

Pour chaque outil recensé, l'objectif était d'identifier les indicateurs utilisés, de définir leur mode de calcul, de recenser les données nécessaires à la collecte et d'indiquer l'unité utilisée.

Ce travail a donné lieu à deux documents présentés en annexes 1 et 2.

Le document en annexe 1 recense de manière globale les outils de diagnostics identifiés présentant en totalité ou en partie une évaluation des performances énergétiques des exploitations agricoles. Pour chaque outil, sont recensés le concepteur, le type et l'objectif, l'échelle de calcul des indicateurs et l'accessibilité de l'outil.

Le document en annexe 2 recense quant à lui, pour chacun des outils identifiés, les modes de calcul des indicateurs de performances énergétiques identifiés de ces outils que ce soit pour les énergies directes ou indirectes. Pour chaque indicateur sont recensés les données à collecter, l'unité brute utilisée pour la collecte, la méthode de calcul et les types de documents nécessaires à la collecte des informations.

L'objectif de cette étude a été avant tout plus de faire un recensement et une évaluation des indicateurs de performances énergétiques utilisés par ces outils que des outils en tant que tels. Cet état de l'art des indicateurs et de l'échelle de collecte des informations nécessaires à leur calcul va permettre de pouvoir identifier des indicateurs plus détaillés et les solutions technologiques permettant de collecter les informations nécessaires afin de réaliser des bilans énergétiques à une échelle plus fine.

Treize outils de diagnostic énergétique issus de l'état de l'art ont été retenus en fonction de leur pertinence et de leur accessibilité pour la suite des travaux.

Pour en savoir plus :

BUISSON, J. (rapport de stage, juillet 2009). "État de l'art des outils, indicateurs et données pour l'évaluation des performances énergétiques des exploitations agricoles. Licence Professionnelle "Gestion durable des ressources en agriculture", Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand, 44 p.

- **Identifier l'ensemble des postes consommateurs d'énergie directe et indirecte**

La seconde étape du travail a été de faire un recensement le plus exhaustif possible des postes de consommations d'énergie directe et indirecte pouvant avoir lieu sur une exploitation agricole et d'identifier à quelles échelles une collecte d'information serait possible pour avoir des indicateurs de performances énergétiques détaillés. Pour cela, il a

fallu définir le périmètre étudié pour la collecte des données au sein de l'exploitation (exploitation agricole/opération culturale/lot d'animaux/parcelle).

Afin de bien déterminer les différents postes de consommations de l'exploitation agricole, le périmètre étudié a été limité à l'ensemble des opérations techniques réalisées sur l'exploitation pour les activités de production ou de fonctionnement général. Les activités liées à des prestations de services pour des tiers ou à l'utilisation d'entreprises de travaux agricoles n'ont pas été prises en considération dans un premier temps.

Une partie de ce travail a également consisté à définir les relations de l'exploitation agricole avec son environnement. La question des transports liés aux livraisons des fournisseurs et/ou des clients a été étudiée. Il a été choisi de collecter les informations relatives aux distances de transport entre l'exploitation et les fournisseurs et/ou clients directs soit par recueil de l'information auprès des fournisseurs et /ou des clients, soit en considérant la distance entre le siège de l'exploitation et le siège du fournisseur et/ou du client.

Ce travail a donné lieu à la réalisation d'un document présenté en annexe 3. Ce document essaie de faire un état des lieux complet des différents postes de consommation d'énergie directe et indirecte d'une exploitation agricole. Il a été choisi de présenter les postes de consommation d'énergie directe et indirecte par « opération technique » et « opération d'ordre général » afin de pouvoir identifier les futurs indicateurs de performances énergétiques à mettre en place pour réaliser un bilan fin des consommations énergétiques à différentes échelles (parcelle, culture, lot d'animaux, etc.) et d'identifier si des solutions technologiques peuvent être mises en place facilement pour collecter les informations nécessaires.

La méthode utilisée pour réaliser le tableau a été la suivante. Trois types d'opérations techniques liées au fonctionnement de l'exploitation agricole ont été déterminés : les opérations culturales, les opérations d'élevage et les opérations d'ordre général.

- **L'opération culturale** est décrite par Osty (1990) comme une division de l'itinéraire technique qui consiste à intervenir sur la culture.
- **L'opération d'élevage** est définie comme toutes les interventions liées au troupeau, soit directement par les soins, soit indirectement par l'alimentation ou les produits et coproduits tels que le lait, la viande ou les déjections.
- **Les opérations d'ordre général** que l'on ne peut allouer à aucun atelier précis. Elles peuvent être effectuées pour le compte de plusieurs ateliers ou éléments du système opérant, c'est le cas pour le nettoyage, la logistique, la maintenance, les transports et déplacements, la surveillance et la gestion du système, les activités de transformation, conditionnement, conservation des produits et la commercialisation.

Ces trois grands types d'opérations sont composés de sous-opérations (par exemple l'opération culturale "Protection des végétaux" comporte les sous-opérations "Désherbage mécanique" et "Lutte contre les ravageurs"). Ces sous-opérations ont été regroupées selon leur degré de dépendance les unes par rapport aux autres. Par exemple, la récolte des fourrages est suivie de manière systématique par les opérations de transport et de stockage des produits récoltés, de même que la traite est étroitement liée au nettoyage

des équipements et au stockage des eaux blanches. Nous les avons donc regroupés au sein d'une même grande opération "Gestion de la récolte" pour l'un et " Gestion de la traite" pour l'autre.

Pour chacune de ces sous opérations, nous avons recensé les éléments du système opérant mobilisés pour la réalisation de ces sous-opérations (matériel, équipement et bâtiments), l'énergie indirecte liée à l'utilisation des intrants et fournitures et l'énergie directe consommée par le tracteur, l'automoteur et/ ou par les bâtiments (chauffage, ventilation, aération, climatisation, éclairage) dans certains cas.

Le tableau recense pour chaque sous opération le type d'engin motorisé (tracteur ou automoteur), le type d'équipement (matériel) et l'énergie directe utilisés, le type d'intrants mobilisé pour mener à bien l'opération. Si des bâtiments peuvent être directement affectés à la sous-opération, le tableau recense le type de bâtiments et le type d'énergie directe utilisée par le bâtiment. La dernière colonne indique à quel(s) niveau(x) de précision les informations nécessaires peuvent être collectées et éventuellement à quel(s) niveau(x) de précision l'indicateur de performance énergétique peut être calculé. Le niveau de l'exploitation agricole est par défaut présent pour l'ensemble des sous-opérations.

Pour en savoir plus :

BUISSON, J. (rapport de stage, juillet 2009). "État de l'art des outils, indicateurs et données pour l'évaluation des performances énergétiques des exploitations agricoles. Licence Professionnelle "Gestion durable des ressources en agriculture", Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand, 44 p.

Etat de l'art des solutions technologiques

Pour élaborer un diagnostic fin des performances énergétiques d'une exploitation agricole, il est nécessaire au préalable d'identifier les informations à collecter, la manière de les collecter et de les traiter et à quelle échelle les collecter. Pour cela, un état de l'art des méthodes de diagnostics à partir des indicateurs et des données existantes a été réalisé, ainsi qu'un état de l'art des solutions technologiques existantes qui peuvent être mises en œuvre à un coût raisonnable.

En termes méthodologiques, les principaux critères retenus consistent à :

- mesurer et collecter des données relatives à la consommation d'énergie et à l'utilisation des agroéquipements
- alimenter les indicateurs utiles à l'élaboration des bilans énergétiques
- contribuer à l'optimisation de l'utilisation des équipements
- contribuer à la réduction des consommations d'énergie

L'état de l'art des solutions technologiques proposées pour mesurer et collecter les données nécessaires à alimenter les indicateurs utiles à l'élaboration des bilans énergétiques et qui peuvent contribuer à la réduction de la consommation énergétique a débuté avec un premier travail de recensement à l'occasion du 73ème SIMA à Villepinte en

février 2009 *(Salon International du machinisme agricole)* auprès des exposants, constructeurs et fournisseurs d'agroéquipements. Dans le cadre du projet EnergéTIC, les éléments recueillis seront aussi complétés au fur et à mesure par les diverses informations obtenues notamment lors des visites effectuées sur chacun des huit sites pilotes retenus.

Globalement à l'occasion de ce SIMA les aspects relatifs aux écotechnologies, à la réduction des pollutions dans les systèmes de production et à la préservation des ressources naturelles ont largement été mis en avant. La prise en compte de la consommation d'énergie directe et la préservation de l'environnement ont souvent été des éléments de référence développés, pris en compte ou mis en avant par les exposants. A des niveaux différents suivant leur domaine d'activité, les constructeurs d'agroéquipements exposants à ce salon ont présenté des solutions ou des systèmes avec plus ou moins d'innovations pour permettre d'optimiser l'utilisation des équipements et réaliser des économies d'énergie.

Le rapport est présenté en annexe 4. Il recense les innovations dans les domaines suivants :

- La motorisation des tracteurs et des automoteurs
- Les outils de travail du sol semi-portés
- Les systèmes d'Irrigation
- Les équipements en installation de traite
- Les dispositifs d'aide ou d'automatisation du guidage des véhicules
- Les matériels de récolte des fourrages
- Les matériels de distribution des fourrages
- Les équipements de mesure et d'enregistrement pour les matériels
- Les outils informatiques et les logiciels agricoles
- Les matériels d'épandage et de pulvérisation

En conclusion, le recensement des solutions technologiques identifiées lors du 73ème SIMA en février 2009 à Paris Villepinte n'est pas exhaustif mais représentatif de l'état actuel des solutions proposées. Globalement, s'il apparaît que les aspects relatifs aux écotechnologies, à la diminution des consommations d'énergie directe, à la réduction des pollutions et à la préservation des ressources naturelles semblent commencer à être bien pris en compte par une majorité de constructeurs d'agroéquipements, peu de solutions technologiques sont encore proposées pour permettre de mesurer, collecter et stocker les informations utiles à l'évaluation des performances énergétiques et environnementales des exploitations agricoles de façon plus ou moins automatique.

Les besoins des nouveaux indicateurs de performances énergétiques des exploitations agricoles ont été exprimés en fonction des objectifs d'évaluation des dépenses et des performances énergétiques pour le suivi des consommations, le pilotage des pratiques agricoles et la réalisation de référentiels de consommations énergétiques. Les éléments actuellement recueillis permettent une approche des cahiers des charges des futures solutions technologiques à mettre en place pour que soient prises en compte les utilisations économiques et environnementales des équipements avec la collecte des données s'y rapportant.

Le 74ème SIMA qui s'est tenu à Villepinte en février 2011 *(Salon International du machinisme agricole)* a été l'occasion de compléter ce premier travail de recensement en faisant le point des évolutions et des tendances auprès des exposants, constructeurs et fournisseurs d'agroéquipements.
L'évolution des normes antipollution et le développement de l'électronique embarquée, avec la présence confirmée de Bus CAN, contribuent à l'émergence de solutions de mesure de la consommation de carburant, d'analyse des performances des tracteurs et des automoteurs et de réduction de la pollution (technologie SCR et filtre à particules associé à un catalyseur d'oxydation diesel et une vanne EGR).
Pour les tracteurs ou les automoteurs les plus sophistiqués et pourvus d'électronique embarquée, notamment équipés du BUS CAN, l'information de consommation de carburant est souvent disponible à titre informatif pour le conducteur sous forme de consommation horaire instantanée, consommation horaire moyenne ou parfois rapportée à une durée de travail.
Certains terminaux de bord plus évolués avec des fonctionnalités dédiées à des pratiques d'agriculture de précision proposent une analyse plus avancée des performances du tracteur ou de l'automoteur en affichant des informations d'analyse de la consommation de carburant, quantité totale de fuel utilisée en litre, quantité moyenne de fuel consommée par hectare (l/ha) ou par heure de fonctionnement (l/h), distance parcourue par litre de fuel consommé (km/l) avec même parfois une approche de l'évaluation du rendement sous la forme d'une valorisation énergétique par litre de fuel consommé (kwh/l). Pour la plupart des machines cette information de consommation est obtenue à partir des calculs effectués au niveau des boitiers électroniques de gestion de l'injection du carburant qui tiennent compte des quantités de carburant injectées et connues en fonction des paramètres de conception du moteur, régime de rotation, position de la commande d'accélérateur, charge du moteur, etc. …
Les informations visuelles ne sont pas toujours mémorisées ni rendues disponibles ou restituées pour une utilisation ou une analyse ultérieure. Seuls les tracteurs ou les automoteurs les plus sophistiqués avec notamment certaines fonctionnalités liées à des pratiques d'agriculture de précision permettent de recueillir des données sur carte SD, PCMCIA ou clé USB, pour ensuite permettre un éventuel transfert en vue d'analyse et d'exploitation.

L'Institut de l'Elevage a participé activement la réalisation d'un état de l'art des travaux existants sur l'évaluation des performances énergétiques et les bilans énergie dans l'exploitation agricole (outils d'acquisition de données, outils de diagnostic, indicateurs de performances, référentiels expérimentaux) notamment sur celles d'élevage laitier.

Solutions techniques de mesurage

	Unité	**Echelle de temps**	**Montage** (ouverture circuit)	**Type de sorties**	**Coûts**
Compteur – totalisateur type EDF	Wh ou kWh	Relevés	Avec	Saisie	-
Compteur – totalisateur d'énergie + enregistreurs	Wh ou kWh	Réglable	Avec	Fichier texte	~ 350 €
Pinces ampère-métriques + enregistreurs	A	Réglable	Sans	Fichier texte	~ 500 €
Pinces watt-métriques monophasées	W	Réglable	Sans	Fichier texte	~ 1 200 €
Pinces watt-métriques triphasées	W	Réglable	Sans	Fichier texte	-
Pinces ampère-métriques + sondes de température +automate	A + °C	Réglable	Sans	Fichier texte multicanaux	~ 100 € par voie + 1 500 €
Compteurs – totalisateurs + sondes de température + automate	Wh + °C	Réglable	Avec	Fichier texte multicanaux	~ 250 € par compteurs + 100 € par voie + 1 500 €

On constate que les différentes solutions permettent différents niveaux de précision et différents types de sorties avec à des coûts variables. Ainsi, le choix de la solution doit de se faire par la précision désirée et les possibilités et fréquence des variations de consommations possibles.
L'identification des informations à collecter pour le pilotage opérationnel (semaine, mois, etc) des performances énergétiques et la réalisation des bilans énergétiques des entreprises agricoles à l'échelle de la parcelle, de l'atelier de production, de l'opération technique ou de l'unité de production (vaches laitières, UGB, litre de lait, …) a été réalisé étroitement avec la ferme expérimentale de Derval.

Pour en savoir plus :

BOFFETY, D., 2011. SIMA 2011 : des solutions technologiques pour collecter les informations énergétiques et contribuer à la réduction de la consommation de carburant des tracteurs et automoteurs. *Note de Veille Machinisme Agricole CETIM, 6 p.*

BOFFETY, D. « Etat de l'art des solutions technologiques proposées par les constructeurs et fournisseurs d'agroéquipements exposants au SIMA 2009 complété des retours d'experts des différents sites pilotes du projet » - Document interne au projet, 9 p.

BOFFETY, D., 2009. Solutions constructeurs pour collecter les informations énergétiques et réduire la consommation : 1. Machines mobiles. *Note de Veille Machinisme Agricole CETIM NV-M0911,* 4 p.

BOFFETY, D., 2009. Solutions constructeurs pour collecter les informations énergétiques et réduire la consommation : 2. Traite, fourrage, épandage, pulvérisation, irrigation. *Note de Veille Machinisme Agricole CETIM NV-M0912*, 5 p.

PRADEL, M., BOFFETY, D., ABT, V., 2009. Vers une évaluation plus fine des performances énergétiques des exploitations agricoles : quels indicateurs et quelles solutions technologiques pour les renseigner ? Colloque Ecotechs'09 "Maîtrise de l'énergie à l'échelle de l'exploitation agricole : quelles perspectives technologiques ?", 22/10/2009 - 23/10/2009, Montoldre, FRA. Maîtrise de l'énergie à l'échelle de l'exploitation agricole : quelles perspectives technologiques? p. 133 - 141

BOURLON, M. (rapport de stage, juillet 2009). « Développement et mise en œuvre d'une solution d'acquisition et de communication de données à partir de technologies électroniques et informatiques ». IUP Mécatronique, Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand, 60 p.

HENAULT, X. (rapport de stage, juillet 2009). « Développement et mise en œuvre d'une solution d'acquisition et de communication de données à partir de technologies électroniques et informatiques ». IUP Mécatronique, Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand, 57 p.

2 – Expression des besoins et informations à collecter pour le pilotage opérationnel des performances énergétiques et la réalisation des bilans énergétiques des entreprises agricoles à différentes échelles

- **Identifier et/ou concevoir des indicateurs pouvant évaluer les performances énergétiques des différents postes identifiés**

Ce volet a consisté à identifier les différents flux énergétiques mis en œuvre par les activités consommatrices d'énergie identifiées et l'échelle de collecte de ces flux en vue de proposer un éventail d'indicateurs de performances énergétiques. Il s'agit d'un préalable à la définition des cahiers des charges de système d'information et de solutions technologiques à mettre en œuvre.

Les méthodes utilisées en France pour établir des diagnostics énergétiques utilisant pour la plupart différents types d'indicateurs qui sont, soit peu sensibles à des variations de pratiques car définis à l'échelle de l'exploitation agricole, soit de mauvais outils de

pilotage par manque de distinction entre les énergies utilisées. Ces indicateurs ne sont donc pas adaptés à une évaluation fine des dépenses énergétiques d'une exploitation agricole. Une dizaine de nouveaux indicateurs ont donc été proposés pour évaluer à une échelle plus fine les consommations énergétiques.

Trois dimensions ont été identifiées sur la base de l'état de l'art pour construire des indicateurs de performances énergétiques à une échelle plus fine : les flux d'énergie (tableau 1), les postes de consommation présents sur l'exploitation (annexe 3), les échelles spatiale et temporelle pour exprimer les mesures (figure 1).

Tableau 1 : Les flux d'énergie directe et indirecte et leurs unités brutes

Energie directe	Unité brute du flux
Les carburants	Litre (l)
Essence (CE)	
Gasoil (CG)	
Carburant fuel (CF)	
Huile 2t (CH)	
Fioul domestique (FD)	
Huile Végétale Pure (HVP)	
Les gaz	m³
Gaz de ville (GV)	
Propane (GP)	Kilogramme
Butane (GB)	
Energie électrique	kWh
Electricité (E)	
Energies Renouvelables	m³ Tonne Stère
Bois (EnR B)	
Solaire (EnR S)	kWh
Géothermie (EnR G)	

Energie indirecte	Unité brute du flux
Produits maintenance (PM)	Litre
Huiles et lubrifiants	
Produits nettoyage (PN)	Litre et Kg
Désinfectants, détergents…	
Produits et matériel vétérinaires (PMV)	Kg Litre
Vaccins, antibiotique etc…	
Seringue, gants etc…	
Aliment du bétail (AB) (hors fourrage)	Kg
Fournitures divers (FD)	Kg Tonne (t) Euros (€)
Plastique divers	
Métaux	
Verre	
Carton	
Verre	
Produits phytosanitaires (PP)	Kg et Litre
Désherbant	
Fongicide	
Pesticide	
Insecticides	
Autres produits de protection des végétaux	
Fertilisants minéraux (FM)	Kg (Produit commerciaux)
Azote, Potassium, Phosphore	
Fertilisants organiques (FO)	Kg
Farine de plume, fumier…	
Amendement (A)	Kg (produits commerciaux)
Calcium…	
Autres intrants (AI)	Kg
Semence	
Eau potable et irrigation (EPI)	m³

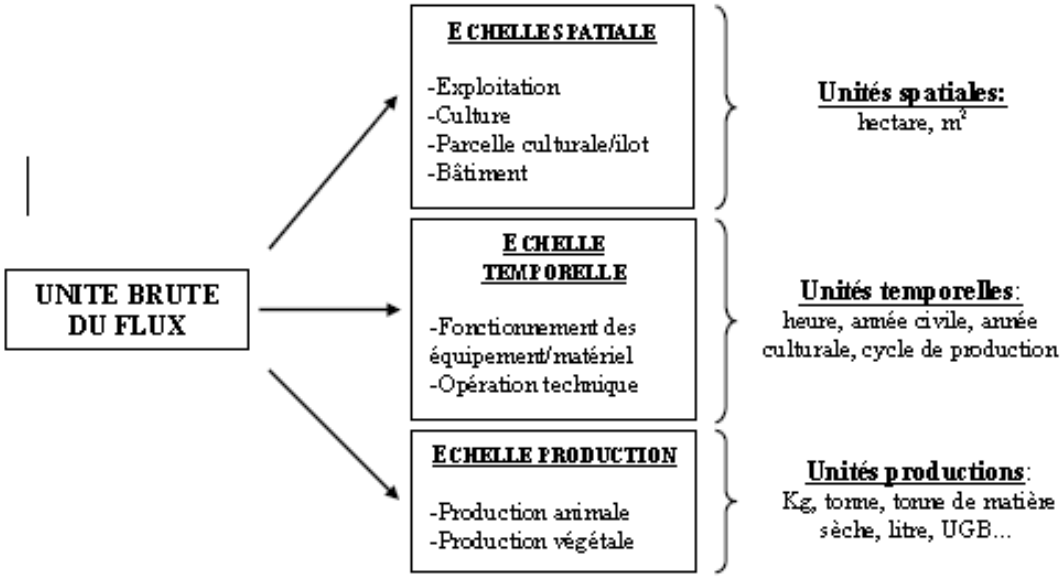


Figure 1 : Echelles de mesure d'un flux

Ce travail a fait l'objet d'un document présenté en annexe 5. Les tableaux présentés font état pour chaque échelle de collecte (spatiale, temporelle, production) et chaque type de flux d'énergie directe et indirecte des indicateurs de performances énergétiques proposés illustrés par un exemple. L'objectif de l'indicateur et sa pertinence par rapport au projet sont également précisés.

Ce tableau permet donc :

- De recenser les indicateurs de performances énergétiques issus de mesures (consommation de fioul du tracteur...) pouvant être envisagés pour évaluer les performances énergétiques à une échelle fine ;
- D'identifier les besoins en information par l'analyse de l'existant ;
- De proposer des indicateurs de pratiques (permettant de comprendre et d'expliquer les indicateurs de performances énergétiques). Ces indicateurs de pratiques sont des indicateurs technico-économiques des pratiques culturales ou d'élevage tels que tonne de fumier épandue/ha, rendement/ha, UGB/ha, etc.

A partir d'un indicateur le plus simple possible, situé à une échelle d'analyse fine et obtenu grâce à des mesures directes de terrain, des indicateurs composites, situés à une échelle d'analyse globale et obtenus par agrégation de mesures directes (calcul théorique) sont construits (figure 2).

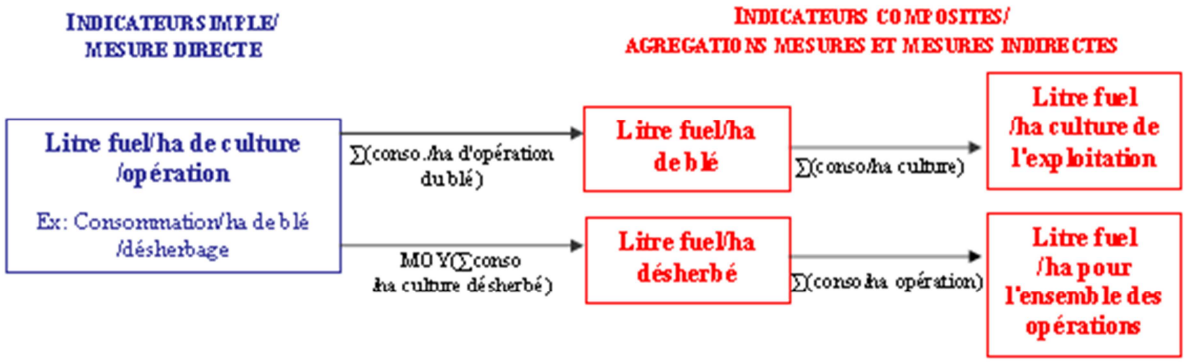


Figure 2 : Calculs et utilisation des indicateurs aux échelles temporelle et spatiale

Pour en savoir plus :

BUISSON, J. (rapport de stage, juillet 2009). "État de l'art des outils, indicateurs et données pour l'évaluation des performances énergétiques des exploitations agricoles. Licence Professionnelle "Gestion durable des ressources en agriculture", Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand, 44 p.

- **Expression des besoins en informations et définition du cahier des charges générique du système d'acquisition et d'information**

Les travaux ont donné lieu à la production d'un glossaire de termes utilisés, présenté en annexe 6.

Une liste des activités et chantiers a également été définie dans le cadre du projet (Tableau 2).

Tableau 2 : Liste des chantiers identifiés pour le projet

Activité	Description (chantier)
Travail du sol et semis	**Travail du sol ; Semis ;** Traitement de semences
Fertilisation organique S	**Epandage ;**
Fertilisation organique L	**Mixage2 ; Pompage ; Epandage ;**
Fertilisation minérale	**Epandage ;**
Protection cultures	**Desherbage mécanique ; Desherbage mixte ; Traitement phyto ;**
Irrigation	**Mise en place ; Desinstallation ; Pompage réserve ; Tour d'eau ;**
Récolte de céréales	**Récolte ; Transport ; Stockage ; Broyage résidus ;**
Récolte de foin/paille	**Fauche ; Fanage ; Andainage ; Pressage ; Transport-stockage ;**
Récolte d'ensilage	**Fauche ; Ensilage ; Transport ; Mise en silo ;**
Distribution aliments	**Distribution ;**
Entretien milieu	**Broyage ;** élagage
Gestion des déjections	**Paillage ; Raclage ; Curage ; Mixage1 ; Compostage**
Traite	**Traite ; Nettoyage (machine/installation) ; stockage**
Appro/Livraison	**Transport ;**

Deux visions se confrontent : celle du gestionnaire et celle de l'ouvrier.
Qui enregistre quoi ?
L'automatisation serait-elle à privilégier pour s'affranchir de la variabilité due à l'opérateur ?
Plusieurs niveaux d'acquisition de données peuvent être envisagés, soit dans le temps pour un même site pilote, soit d'un site pilote à l'autre. Par exemple, pour le relevé des consommations de carburants par équipement, nous pourrions définir 3 niveaux de collecte de données (les niveaux 1 et 2 pourraient d'ores et déjà être mis en place par exemple dans les sites pilotes) :

- Niveau 1 : Carnet à la pompe permettant de noter les quantités de carburant apportées aux différents équipements
- Niveau 2 : Carnet et la pompe et plein avant chaque chantier
- Niveau 3 : Solutions technologiques (débitmètre/jauge) avec protocole de saisie

Il est important d'identifier, pour chaque donnée collectée : sa qualité, sa fiabilité et sa précision. Ces éléments pourront être discutés à l'issue du projet et mettre en avant les aspects liés à la métrologie dans l'exploitation agricole.
Un travail approfondi doit notamment être mené dans chacun des sites pour identifier comment sont produites chacune des données. Par exemple, une quantité de paille par parcelle peut être entièrement mesurée, si chaque remorque de fourrage est pesée, mais elle peut aussi être estimée en comptant le nombre de balle et en multipliant par un poids moyen de balles (estimé par parcelle ou pour l'ensemble de la récolte).

L'étude préalable des sites pilotes a permis :

- de connaître les systèmes de production des 8 sites pilotes ;
- d'identifier des activités prioritaires à étudier pour chaque site ;
- de modéliser les principaux flux (énergie, matière) pour chaque activité prioritaire ;

- d'identifier les mesures disponibles et de formaliser le système d'acquisition.

Pour étudier les sites pilotes, la méthodologie d'étude employée a consisté en 1) une collecte préalable d'informations (cartographie parcellaire, inventaire du matériel et des infrastructures, fiches de présentation de l'exploitation agricole, Bilan Planète), 2) une visite du site (liste des activités principales, identification des priorités, liste des ressources, description des itinéraires techniques et des données collectées), 3) une modélisation/formalisation des informations recueillies pour aboutir à 4) une synthèse structurée pour chaque site visité comprenant :

- le système de production
- la répartition des énergies consommées et produites (bilan Planète)
- les infrastructures et le parcellaire
- l'organisation
- les spécificités de la structure
- les postes de consommation dominants
- le niveau d'équipement de l'exploitation
- les enregistrements sur les postes de consommation prioritaires et les postes de travail
- le bilan des atouts et contraintes du site en termes de pilotage énergétique
- l'instrumentation possible.

L'ensemble des fiches de synthèse est présenté en annexe 7.

Sur le plan méthodologique, le développement d'un système d'information passe par :

- une étude préalable pour proposer une architecture globale et aboutir à un cahier des charges fonctionnel ;
- une étude détaillée pour obtenir une description complète de la solution à réaliser et aboutir à un cahier des charges technique ;
- une étape de réalisation et de tests ;
- une étape de mise en œuvre avec l'intégration des corrections demandées par les sites pilotes, la généralisation, la formation, la documentation, l'installation et l'exploitation ;
- une étape de maintenance prenant en compte les évolutions à apporter.

Le cahier des charges fonctionnel doit délimiter le périmètre du projet (contexte, objectifs, acteurs…), formaliser l'expression des besoins, lister des fonctionnalités, évaluer les contraintes (techniques, économiques, humaines) et préciser le planning.
Quant au cahier des charges technique, il doit présenter une analyse technique détaillée de la solution à mettre en œuvre, les configurations matérielles et logicielles, les architectures fonctionnelles et techniques, les données, les maquettes d'écran et les contrôles de cohérence.

Les données de description des tâches ont été rassemblées dans un tableau présenté en annexe 8.
Ce document identifie les ensembles de travail associés à des chantiers qui se décomposent en tâches de niveau 0, 1 ou 2. Sont précisés les flux utilisés, les données à collecter, les données calculées, ainsi que les modes et matériels d'enregistrement des données.

Les données de description des sites ont été répertoriées. Elles correspondent à la description des personnes, des équipements, des parcelles, des lots d'animaux, etc. La figure 3 présente la structure de l'ensemble de ces données à travers huit items : parcelle physique, parcelle culturale, occupation du sol – culture – couvert, équipement motorisé, outil, personne, lot d'animaux et matière - intrant.

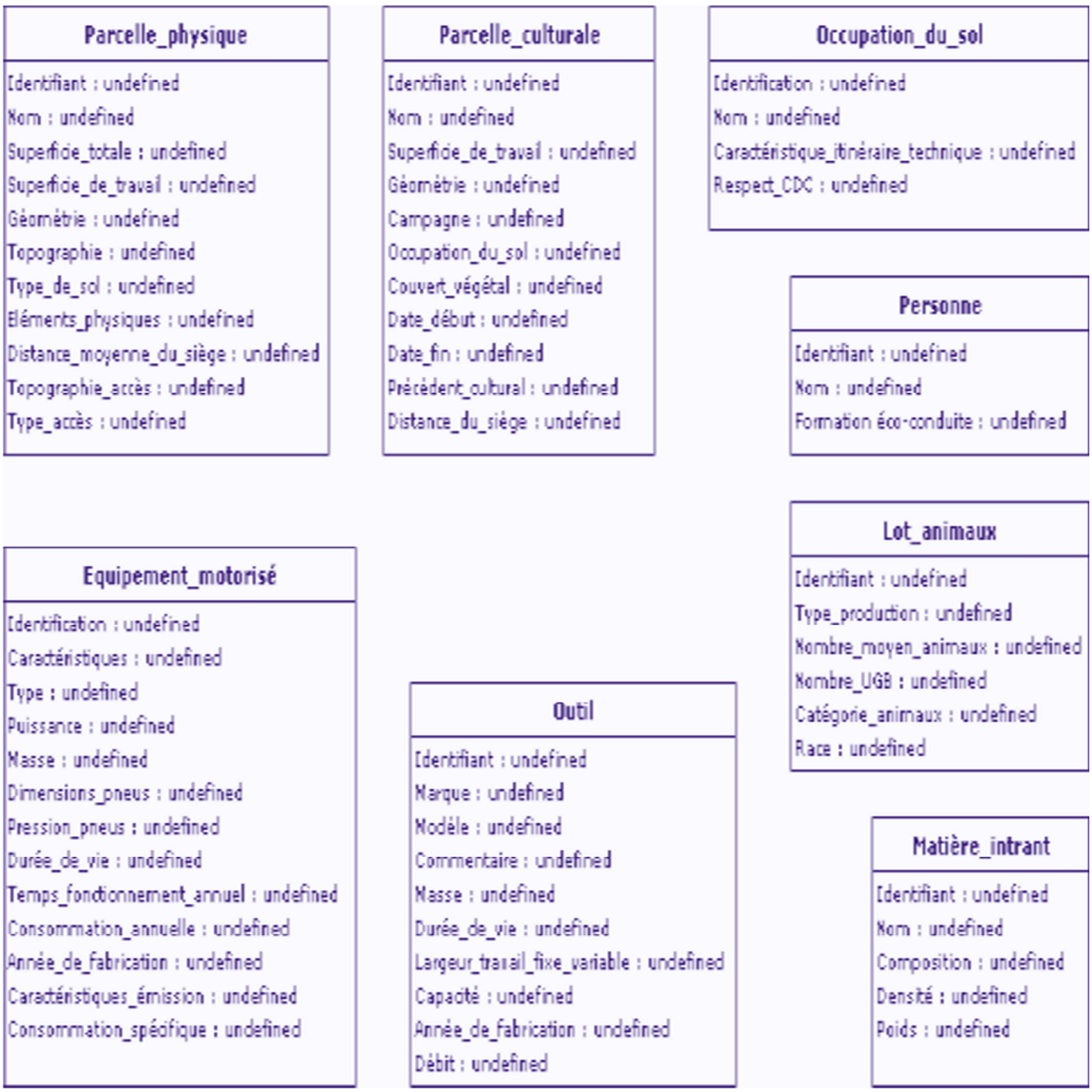


Figure 3 : Détail des données de description des sites

Pour en savoir plus :

ESCALLIER, M., BIMONTE, S., ABT, V. Projet EnergéTIC – Intégration des données, Document interne au projet, 70 p.

Collecte de données

Afin de pouvoir calculer autant d'indicateurs que possible, il a été nécessaire de multiplier les sources d'information.
La collecte de données a été réalisée sur les différents sites pilotes. Les données collectées peuvent être classées en deux grandes catégories :
1. les données relatives à la réalisation des différents travaux (consommation de carburant, durée, produits employés…),
2. les données propres à chaque exploitation (cartographie, liste du matériel, liste des produits…).
Initialement, les données relatives à l'exécution des travaux devaient être collectées automatiquement via divers systèmes d'acquisition. Cependant, la mise en place de ces outils ayant été retardée et étant donné le besoin de données nécessaire à la bonne poursuite du projet, il a été décidé de réaliser des fiches de collecte dédiées aux divers sites pilotes. Trois fiches de collecte ont été mises en place afin d'homogénéiser la saisie, de s'assurer que toutes les informations nécessaires ont été correctement relevées et de faciliter la saisie ultérieure des informations.
La première fiche, a été conçue pour collecter les informations relatives à des travaux sur parcelle, la seconde vise le recueil de données des chantiers de distribution des aliments et la dernière les chantiers de transport. Ces fiches sont présentées en annexe 9.

Les acquisitions de données se font par chantier (un chantier est constitué par un ensemble de tâches réalisées par un même ensemble de travail) et pour chaque tâche.
Les données collectées doivent permettre de calculer de manière aussi fine que possible les dépenses énergétiques avec une appréciation de la qualité de la donnée recueillie. D'autre part, les données n'étant pas toujours disponibles au niveau le plus fin, il est indispensable de pouvoir les collecter à une granularité plus élevée. Par exemple, la donnée de la consommation de carburant n'est pas toujours disponible au niveau d'une tâche, mais elle peut assez aisément être récupérée au niveau d'un chantier. Ainsi, les différentes rubriques des fiches de collecte permettent de recueillir la donnée à différentes échelles. De plus la précision sur la qualité de la donnée peut être ajoutée, les notions de données mesurées et données estimées permettant de faire un tri ultérieur sur les données.
Pour toutes les fiches de collecte, des données standards sont récupérées.

- *Données communes à toutes les fiches*

Pour chaque fiche de collecte, les données renseignées sont les suivantes :

<u>Informations relatives au temps</u>

- date de début et de fin du chantier
- relevé du compteur d'heure en début et en fin de chantier
- durée nécessaire à la préparation du chantier et au rangement du matériel en fin de chantier
- temps passé pour effectuer une tâche et temps mort durant cette tâche
- estimation de la durée totale du chantier

<u>Informations relatives à la distance parcourue au cours du chantier</u>

- relevé du compteur kilométrique en début et en fin de chantier
- distance parcourue au cours de la tâche

- estimation de la distance totale parcourue hors parcelle/lot

Informations relatives à la qualité de la mesure

- type d'outils de mesure utilisé (montre, chronomètre, pompe à fuel, jauge, débitmètre, plateforme de pesée ou capteur de pesée)

Informations relatives à l'équipement utilisé

- noms du tracteur et de l'outil associé
- vitesse de travail
- largeur de l'équipement
- profondeur de travail
- régime moteur et prise de force

Informations relatives aux produits utilisés

- caractéristiques du mélange : nom des produits et quantités respectives
- quantité de fuel consommée pendant la préparation, pendant les différentes tâches, au cours du rangement et pour la totalité du chantier
- quantité de produit apportée ou récoltée

Informations relatives à l'opérateur

- nom de l'opérateur

- *Données spécifiques à chaque fiche de collecte :*

De plus, il existe des spécificités en fonction du type de travail réalisé. Pour les travaux en champs, les informations concernant la parcelle (nom, culture, opération technique réalisée et surface travaillée, état du sol) et les déplacements de l'équipement (outil sur exploitation d'un voisin et outil dételé/attelé, allers-retours parcelles/siège et allers-retours parcelles/lieu de chargement) sont également notés.

Concernant les fichiers de distribution des aliments, les indications de mode de chargement, de durée de préparation de mélange de produits, de catégories et de nombre d'animaux alimentés et de nombre de chargement sont également notées.

Enfin, site de départ et d'arrivée et durées de chargement et de déchargement sont à renseigner pour les fiches de chantier de transport.

D'autres sources de données ont été utilisées : des données cartographiques générées par des outils cartographiques propriétaires propres à chaque exploitation, des données issues d'enquêtes centralisées dans les fiches de synthèse des sites pilotes et enfin des données issues de fichiers Excel non standardisés (consommations du robot de traite et du tank à lait, ainsi que pour l'irrigation).

Pour en savoir plus :

ESCALLIER, M., BIMONTE, S., ABT, V. Projet EnergéTIC – Intégration des données, Document interne au projet, 70 p.

3 – Développement de solutions technologiques et du système d'acquisition, de communication et d'information

Contrairement aux véhicules routiers (voiture, bus, camion), les agroéquipements mobiles (tracteurs, chargeurs, automoteurs) ont en général une certaine polyvalence. Ils peuvent en effet réaliser de nombreuses opérations techniques de production en fonction des outils auxquels ils sont attelés. Un tracteur peut ainsi effectuer un travail du sol profond avec une charrue, ou superficiel avec une herse, une implantation de culture avec un semoir, un pressage de foin ou de paille avec une ramasseuse presse, un transport de produits avec une remorque, une distribution d'aliments ou de fourrage avec une remorque distributrice, etc.
Afin d'évaluer les consommations de carburants des agroéquipements par opération réalisée, la simple mesure de la consommation de carburant d'un tracteur ne suffit pas. Elle doit notamment s'accompagner d'une identification des attelages, véritables ensembles fonctionnels regroupant un tracteur et un ou plusieurs outils voire avec un ou plusieurs opérateurs. Par ailleurs, il est également important de distinguer les dépenses énergétiques qui relèvent de tâches directement liées à une unité de gestion (travail dans une parcelle ou pour un lot d'animaux) de celles qui relèvent de tâches de préparations diverses, de déplacements, d'activités de logistique non directement affectables à une unité de gestion et relevant plutôt de l'organisation du travail au sein de l'entreprise agricole.

Les travaux ont porté sur la mise en place d'une chaîne d'acquisition complète depuis les capteurs jusqu'aux indicateurs. La Figure 4 présente le flux d'informations mis en œuvre.

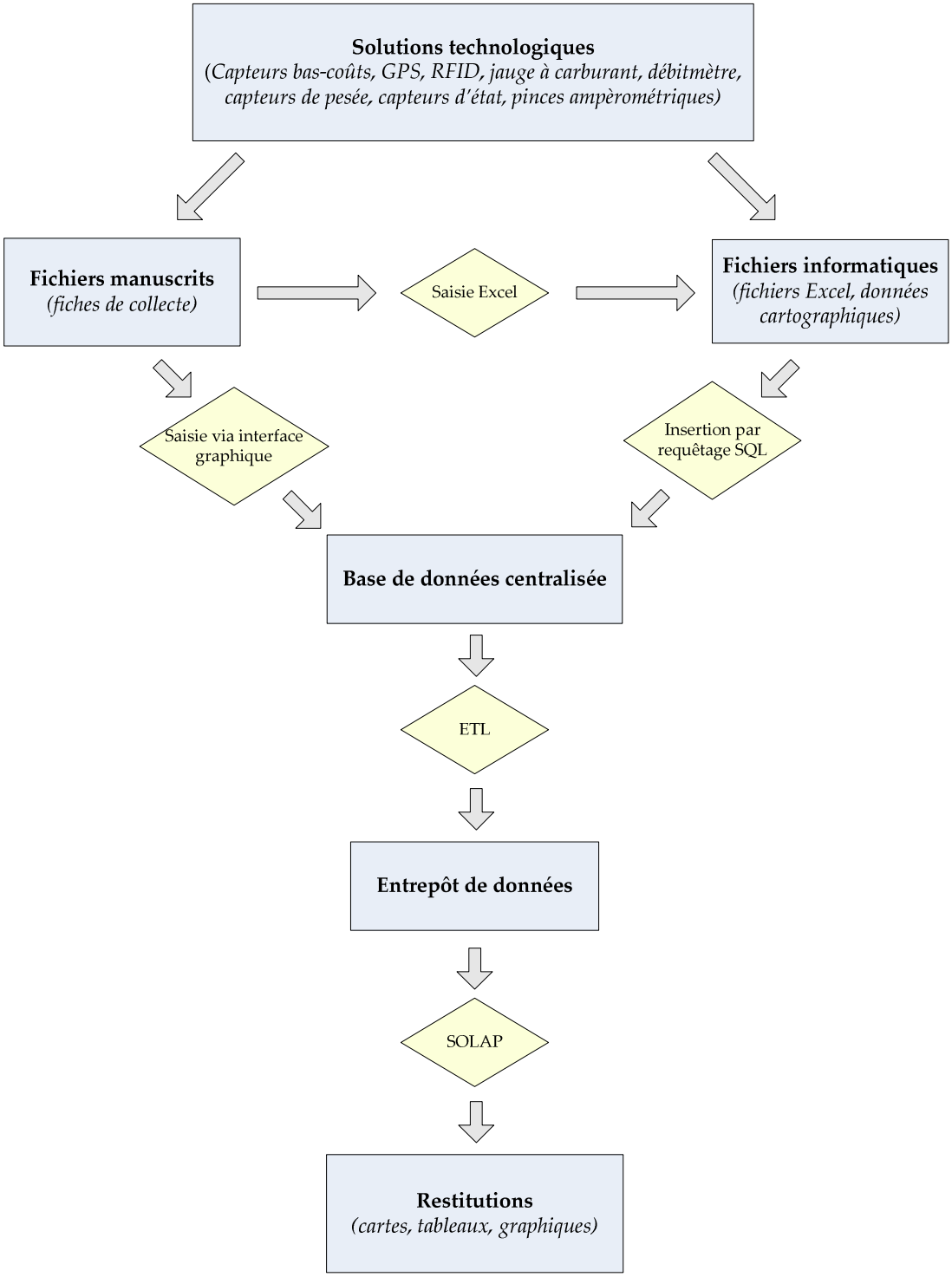


Figure 4 : Flux d'information du capteur à l'indicateur

A partir des solutions technologiques initialement identifiées pour la collecte des données et prenant en compte l'état de l'art réalisé, les disponibilités et les besoins des sites pilotes du projet :

- la solution d'acquisition des consommations en carburant en place à la station de Kerguéhennec,
- la solution développée par AgroSup Dijon et mise en place sur l'EPL Vesoul,
- la solution d'acquisition automatique de données embarquées sur tracteur développée par le Cemagref,
- la solution compteur horaire multi utilisateurs,
- les solutions pour la mesure de la consommation électrique,

ont été retenues pour développement et/ou mise en œuvre sur les sites pilotes, en plus des fiches de collecte standardisées :

- des capteurs pour le suivi de la consommation de carburant (deux solutions développées par le Cemagref)
- des compteurs électriques, des pinces ampère-métrique et un automate industriel pour le suivi de la consommation électrique,
- une base de données permettant de stocker les données brutes,
- un entrepôt de données spatio-temporelles permettant le calcul d'indicateurs,
- différentes briques logicielles permettant l'intégration des données,
- un outil de visualisation cartographique des indicateurs.

Solutions d'acquisition

Un système d'acquisition automatique de la consommation énergétique des équipements mobiles a été développé (figure 5). Ce dispositif permet de suivre précisément l'activité des chantiers avec une mesure de la quantité de carburant dans le réservoir à chaque changement d'état de différents capteurs installés sur le tracteur. Ces différents capteurs "tout ou rien" placés sur les principaux éléments du tracteur permettent de qualifier la nature des tâches réalisées en identifiant les états de fonctionnement des outils. Pour cela, sont donc pris en compte sur le tracteur, l'état de la commande de la prise de force, l'état de la commande d'un distributeur hydraulique auxiliaire, l'état du relevage arrière, l'état du bras du troisième point, l'état du piton d'attelage. Un système GPS directement intégré au boitier d'acquisition permet la localisation du tracteur. Un système d'identification automatique à partir de badges RFID (Radio Frequency Identification) permet d'identifier les outils attelés au tracteur et donc indirectement les opérations techniques qui y sont associées. Cette identification porte avant tout sur l'outil principal mais peut également être étendue à l'association d'outils ou d'équipements, aux opérateurs, aux installations fixes ou mobiles et à tout autre équipement associé à un attelage dès l'instant qu'il est munis d'un badge. Les informations d'identification RFID délivrées sont collectées sur le boitier d'acquisition.

Afin de limiter la quantité de données enregistrées, l'acquisition se fait seulement, lorsqu'un changement d'état est détecté sur un des capteurs "tout ou rien", ou sur demande de l'opérateur. Le transfert des fichiers de données de la mémoire interne du boitier d'acquisition vers la clé USB est exécuté lors de la coupure du contact du tracteur. Les données brutes recueillies et assemblées constituent des fichiers textes organisés avec les informations des différents capteurs : date, temps, données GPS, état des capteurs utilisés, informations concernant le relevé de la consommation de carburant et identification RFID. Ces fichiers chronologiquement sauvegardées sur une clé USB peuvent

ensuite être transférés vers une base de données pour envisager leurs exploitations ultérieures.

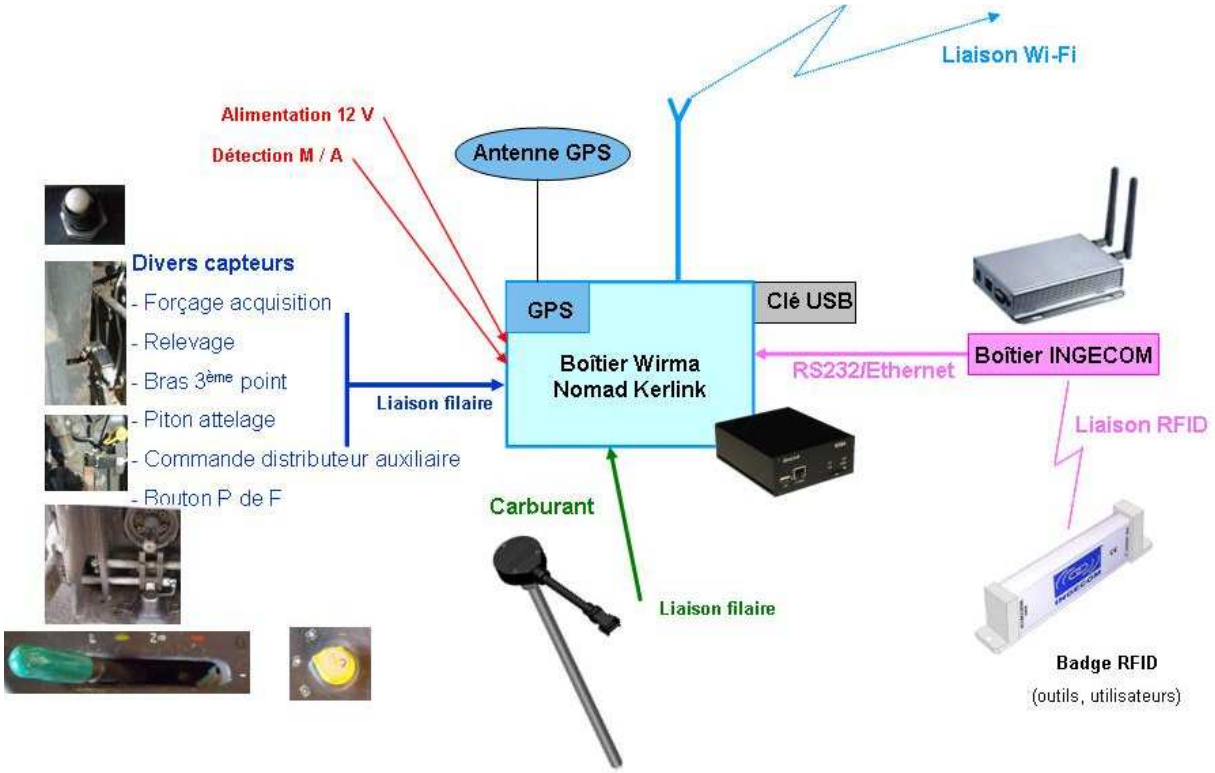


Figure 5 : Schéma de principe de la solution d'acquisition automatique développée

En raison de différents problèmes techniques rencontrés lors du développement de la solution d'acquisition automatique et du fait de l'indisponibilité de la solution « compteur horaire multi utilisateurs » à cause de la fiabilité des mesures de consommation de carburant, la collecte des données a dû être réalisée à partir de fiches standardisées mise à disposition des sites pilotes. Une solution alternative a été mise au point afin de faciliter la collecte des données.

Cette solution est basée sur l'emploi de la même jauge à carburant électronique Vepamon installée sur le réservoir et associée à un afficheur numérique déporté en cabine permettant au conducteur de visualiser les quantités de carburant restant dans le réservoir et de pouvoir les noter plus facilement (figure 6).

Une dernière solution a été retenue à partir d'un boîtier Wachendrorff OPUS A3 en remplacement de la solution « compteur horaire multiutilisateurs » Hydrokit. Cette solution n'a pu être développée qu'en fin de projet compte tenu de l'indisponibilité de ce boîtier. A partir de l'outil logiciel « Projektor » fourni, une application de lecture et d'affichage du niveau de carburant de la jauge numérique Vepamon a été développée. Le boîtier OPUS A3 et son application ont pu être validés en laboratoire et la connexion réelle avec la jauge à carburant sur un véhicule reste à réaliser.

Figure 6 : Afficheur numérique de la quantité de carburant en cabine

Afin de pallier le retard de la disponibilité de la solution automatique, des fiches standardisées de collecte des données ont été mises au point et diffusées dans chacun des sites.

Le dispositif développé par AgroSup Dijon est constituée de deux parties dont la première se compose de deux débitmètres à roues ovales générant 400 impulsions par litre de gazole consommé et la seconde abrite une carte électronique comptant les impulsions envoyées par les débitmètres à chaque seconde et transmettant cette information au PDA via la liaison Bluetooth. Ce dispositif est complété par un PDA avec GPS intégré présentant une bonne résistance aux conditions de travail (PDA « durçi ») et une précision de localisation acceptable. Au niveau logiciel, l'interface développée permet l'affichage des données en temps réel. En plus de l'affichage de la consommation en litre par heure, il est possible de disposer simultanément de la consommation en litre par hectare. La conversion prend en compte la vitesse d'avancement du tracteur (renseignée par l'utilisateur ou fournie par le GPS) et la largeur de l'outil (renseignée par l'utilisateur). Le PDA enregistre la position GPS du tracteur et la consommation mesurée en L/h et L/ha toutes les secondes. L'utilisateur peut s'il le souhaite définir un temps d'intégration (une moyenne glissante sur les n dernières mesures).
Les tests ont eu lieu sur le site pilote du lycée agricole de Vesoul à régimes constants, avec deux régimes moteurs différents (188 tr/min et 2400 tr/min). La valeur fournie par le débitmètre massique a été prise comme référence. La différence entre les valeurs fournies par les deux systèmes de mesure demeure inférieure à 2% de cette référence sur l'ensemble des tests.

L'Institut de l'Elevage et la chambre d'agriculture de Loire-Atlantique ont fait appel à la société NPNi pour la rédaction d'un cahier des charges d'un système centralisé d'acquisition, de communication et d'information permettant la collecte de données et la définition d'indicateur pour le suivi des consommations énergétiques sur le site de la ferme expérimentale de Derval.
Le développement de solutions technologiques et leur mise en place notamment sur le site pilote de Derval ont aussi été réalisés avec le concours de la société NPNi et ce afin de les valider et de collecter et gérer des données sur plus d'une campagne de production. Ainsi

des indicateurs de performances ont été calculés sur ce site pilote grâce à la collecte de données opérationnelles

On peut constater que très peu voire pas encore de solutions sont adaptées aux matériels existants et qu'elles restent plus ou moins complètes sur les nouveaux matériels (ex : MF Datatronc III / GTA sur tracteur MF 6470). Par ailleurs, équiper certaines machines avec des dispositifs anciens (ex : débitmètre Solex sur CLAAS Méga 204) s'avère difficile. La solution d'affichage de la quantité de carburant du réservoir a nécessité une programmation laborieuse ainsi qu'une calibration jauge/réservoir.
La notion de bas-coût demeure tout de même une question difficile à intégrer dans le projet.

Pour en savoir plus :

BOURLON, M. (rapport de stage, juillet 2009). « Développement et mise en œuvre d'une solution d'acquisition et de communication de données à partir de technologies électroniques et informatiques ». IUP Mecatronique, Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand, 60 p.

HENAULT, X. (rapport de stage, juillet 2009). « Développement et mise en œuvre d'une solution d'acquisition et de communication de données à partir de technologies électroniques et informatiques ». IUP Mecatronique, Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand, 57 p.

MAHE, P.D. (rapport de stage, juillet 2010). « Etude, développement, mise en place et suivi de solutions d'acquisition de données dans le cadre du projet EnergéTIC » IUP Mecatronique, Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand, 52 p.

ALLIBERT, J. (rapport de stage, mars 2011). « Contribution au développement d'un système d'acquisition de données embarqué sur automoteur pour les besoins du projet EnergéTIC », BTS GDEA, Lycée agricole Lamotte-Servolex, 26 p.

Base de données centralisée

Pour permettre la centralisation des données, une base de données a été créée qui permet le stockage des informations issues des différents sites. Le chargement de la base peut être réalisé par deux méthodes : la saisie directe via l'interface développée ou une insertion par requête SQL.
Les données issues des pockets pc ou encore transmises par les sites sont généralement dans le format Excel. De la même manière, les données manuscrites sont généralement informatisées dans ce même format.
La base a été réalisée dans le système de gestion de base de données relationnelle et objet (SGBDRO) PostgreSQL 8.4.4. L'interface pgAdmin III a été utilisée pour l'exécution de requêtes.
La base est hébergée sur le site du Cemagref.

Pour en savoir plus :

ESCALLIER, M., BIMONTE, S., ABT, V. Projet EnergéTIC – Intégration des données, Document interne au projet, 70 p.

TAIB, A. (rapport de stage, août 2010). "Modélisation et développement d'une base de données centralisée dans le cadre du projet Energétic". Master 1 SIPPE, Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand – pôle Vichy, 30 p.

Conception de l'entrepôt de données et de l'interface de visualisation

Un schéma global de l'entrepôt a été défini en lien avec les indicateurs souhaités. Ce schéma multidimensionnel permet de calculer des indicateurs à différentes échelles spatiales et temporelles, mais également suivant différentes dimensions thématiques (type de cultures, type de matériels, etc.). L'entrepôt a été réalisé avec les mêmes technologies logicielles que la base de données.
Un outil de chargement des données (Extract Transform Load - ETL) a été développé pour partie avec le logiciel Talend Open Studio, spécialisé dans l'intégration et la gestion des données. Ce qui n'a pu être fait via Talend a été réalisé par une macro Excel. L'agrégation des données, préalable indispensable à l'utilisation de JMAP-SOLAP, l'outil d'analyse et de visualisation, a été effectuée par un programme Java, exécuté sous l'environnement de développement Eclipse.
Le cube de données et les restitutions sont générés par JMAP-SOLAP, plateforme visuelle supportant l'exploration et l'analyse spatio-temporelle des données selon une approche multidimensionnelle à plusieurs niveaux d'agrégation via un affichage cartographique ou en diagramme statistique (figure 7).

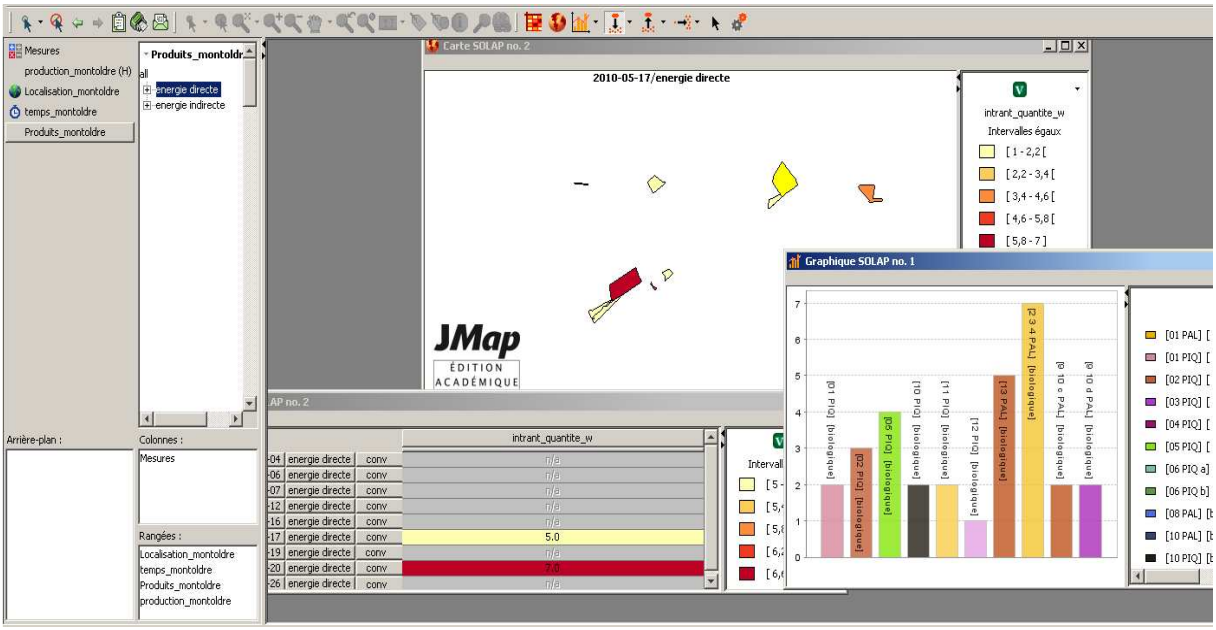


Figure 7 : Visualisation des résultats

Pour en savoir plus :

ESCALLIER, M., BIMONTE, S., ABT, V. Projet Energé'TIC – Intégration des données, Document interne au projet, 70 p.

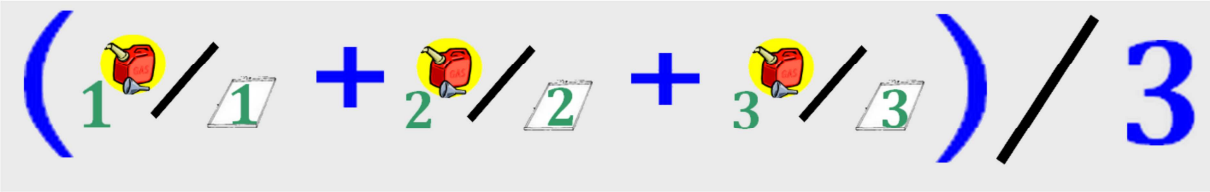
4 - Calcul d'indicateurs de performance et élaboration de bilans énergétiques fins

Calcul d'indicateurs de performance à différentes échelles

Pour calculer les différents indicateurs de performances énergétiques, il faut chiffrer les consommations des postes de l'exploitation. Pour ceci, il y a deux moyens de récupérer des chiffres :
- manuellement : grâce aux informations récupérées par les exploitants sur les fiches de collecte (annexe 9).
- automatiquement : l'objectif est d'enregistrer les consommations de carburants et d'intrants, bien plus précisément que manuellement, et en limitant le travail de notation pour les agents techniques. Le système d'acquisition des données mis en place grâce aux NTIC dans le projet a permis d'identifier précisément les consommations sur chaque parcelle, tout en identifiant le matériel attelé au tracteur, et sans passer à la pompe à la fin de chaque parcelle travaillée.

Les indicateurs de performances énergétiques proposés dans le chapitre 1 peuvent être calculés de différentes manières, chacune pouvant donner un résultat différent mais à prendre en compte. Par exemple, lorsque l'on a des valeurs de consommation d'une opération technique sur un type de culture précis, si l'on possède 3 valeurs de consommations sur des parcelles différentes :

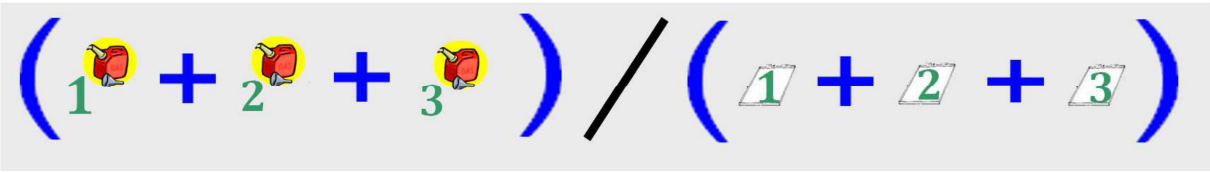
- On peut faire le calcul de l'indicateur directement pour chaque parcelle ici numérotées n°1, n°2, n°3, puis calculer la moyenne de tous les indicateurs.



Moyenne des indicateurs

Le principal avantage de cette méthode de calcul est la possibilité d'analyser les résultats sous forme statistique, notamment la variabilité autour de la moyenne (par le calcul des écarts-types…).

- On peut aussi effectuer le calcul, en agrégeant les informations, avant de les diviser entre elles. La solution serait alors de faire la somme des consommations des parcelles 1,2 et 3 enregistrées, puis de diviser par la somme de leurs surfaces enregistrées :



Σ Consommations / Σ Surfaces
Indicateurs moyens

Le principal avantage de cette méthode de calcul est la possibilité d'obtenir une seule valeur pouvant servir de référence à partir du moment où le nombre de données d'entrées est suffisant et représentatif pour chaque opération technique.

- On peut aussi calculer les rendements de chantier en h/ha pour chaque opération technique pour le volet ACV : (Σ minutes*60)/(Σ ha).

Les unités retenues pour le calcul des indicateurs sont le mégajoule et le litre ramenés à l'hectare ou à l'heure.
Les coefficients d'équivalence choisis sont ceux de l'outil DiaTerre.

Pour chaque opération technique prise en compte, sont calculés :

- Les caractéristiques moyennes de l'opération,
- Les indicateurs moyens (ha et h),
- La moyenne des indicateurs (ha, h chantier et h opération),
- Les rendements de chantiers.

Sont prises en compte, les opérations suivantes :

- *Pour les productions végétales*
  - Andainage
  - Bottelage
  - Broyage
  - Déchaumage
  - Décompactage
  - Désherbage chimique
  - Désherbage mécanique
  - Enrubannage
  - Ensilage
  - Epandage minéral
  - Epandage organique liquide et solide
  - Fanage
  - Fauchage
  - Hersage
  - Irrigation
  - Labour
  - Moisson céréales
  - Pressage
  - Roulage
  - Semis
  - Traitement phytosanitaire
  - Transport foin/paille

- *Pour les productions animales*
  - Curage
  - Distribution des aliments
  - Gestion des déjections
  - Paillage

Les quatre tableaux suivants présentent dans l'exemple du labour, les valeurs des indicateurs calculés :

opération technique	Labour
Caractéristiques de l'opération	
Vitesse moyenne de travail (km/h)	6,92
Nombre de valeurs	*26*
Largeur moyenne de travail (m)	1,54
Nombre valeurs	*23*
Somme de l'énergie directe consommée (L ou m3)	1851,61
Somme de l'énergie directe consommée (MJ)	84433,42
Somme de l'énergie indirecte consommée (MJ)	0,00
Somme de l'énergie totale consommée (MJ)	84433,42
Nombre de valeurs	*27*
Somme des surfaces travaillées (ha)	87,21
Temps total passé au chantier (minutes)	5268

opération technique	Labour
Indicateurs moyens	
Σ Energie directe / Σ Surfaces (L ou m3/Ha)	21,23
Σ Energie directe / Σ Surfaces (MJ/Ha)	968,16
Σ Energie indirecte / Σ Surfaces (MJ/Ha)	0,00
Σ Energie Totale / Σ Surfaces (MJ/Ha)	968,16
Σ Energie directe / Σ Temps passé (L ou m3/h chantier)	21,09
Σ Energie directe / Σ Temps passé (MJ/h chantier)	961,66
Σ Energie indirecte / Σ Temps passé (MJ/h chantier)	0,00
Σ Energie Totale / Σ Temps passé (MJ/h chantier)	961,66
Σ Energie directe / Σ Temps passé (L ou m3/h opération)	14,49
Σ Energie directe / Σ Temps passé (MJ/h opération)	660,75
Σ Energie indirecte / Σ Temps passé (MJ/h opération)	0,00
Σ Energie Totale / Σ Temps passé (MJ/h opération)	660,75

opération technique	Labour
Moyenne des indicateurs	
Echelle spatiale	
Moyennes indicateurs Energie directe	
Moyenne de Conso directe en L ou m3/ha	22,25
Écartype de Conso directe en L ou m3/ha	11,29
Nombre valeurs	*27,00*
Moyenne de Energie directe en MJ /ha	1014,42
Écartype de Energie directe en MJ /ha	514,85
Nombre valeurs	*27,00*
Moyennes indicateurs Energie Indirecte	
Moyenne de Energie indirecte en MJ /ha	0,00
Écartype de Energie indirecte en MJ /ha	0,00
Nombre valeurs	*27,00*
Qté moy de pdts consommés (unité varie selon le produit)	
Nombre valeurs	*0,00*
Moyennes indicateurs Energie Totale	
Moyenne de Energie totale en MJ/ha	1014,42
Écartype de Energie totale en MJ/ha	514,85

opération technique	Labour
Moyenne des indicateurs	
Echelle Temporelle	
Moyenne des indicateurs /h chantier	
Moyenne de Conso directe en L ou m3/h chantier	11,20
Écartype de Conso directe en L ou m3/h chantier	4,14
Nombre valeurs	*14,00*
Moyenne de Energie directe en MJ /h chantier	510,71
Écartype de Energie directe en MJ /h chantier	188,99
Nombre valeurs	*14,00*
Moyenne de Energie indirecte en MJ /h chantier	0,00
Écartype de Energie indirecte en MJ /h chantier	0,00
Nombre valeurs	*14,00*
Moyenne de Energie totale en MJ/h chantier	510,71
Écartype de Energie totale en MJ/h chantier	188,99

- **Comparaison des mesures EnergéTIC avec les références utilisées en ACV et les formules théoriques**

Peu d'opérations techniques relatives à la gestion des animaux ont pu être exploitées. C'est pourquoi, ne seront analysées et comparées ici que les données de consommation de carburant affectées aux opérations culturales et les données de consommation électrique affectées au robot de traite du site pilote de Derval.

- *Point sur l'ensemble des données collectées pour le suivi de la consommation en carburant affectée aux opérations culturales*

Six sites pilotes ont collecté un certain nombre de données de terrain pour le suivi de la consommation en carburant : Montoldre, Kerguéhennec, Moulins, La Jaillière, Vesoul et Brioude, représentant des types de cultures, de sols et d'opérations culturales différentes (figure 8).

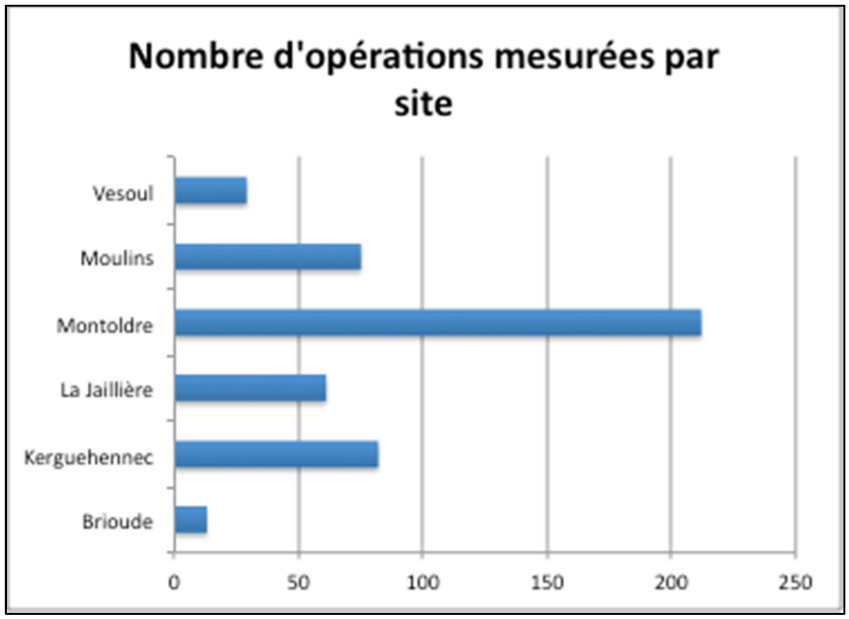


Figure 8 : Nombre de mesures effectuées pour le suivi de la consommation en carburant pour des opérations culturales

Plus de trente opérations culturales différentes ont été suivies. Les opérations d'épandage, de fauchage et du travail du sol sont les plus représentées (figure 9). Cependant, aucun itinéraire technique complet ne peut être reconstitué se rapportant à une culture ou à une parcelle.

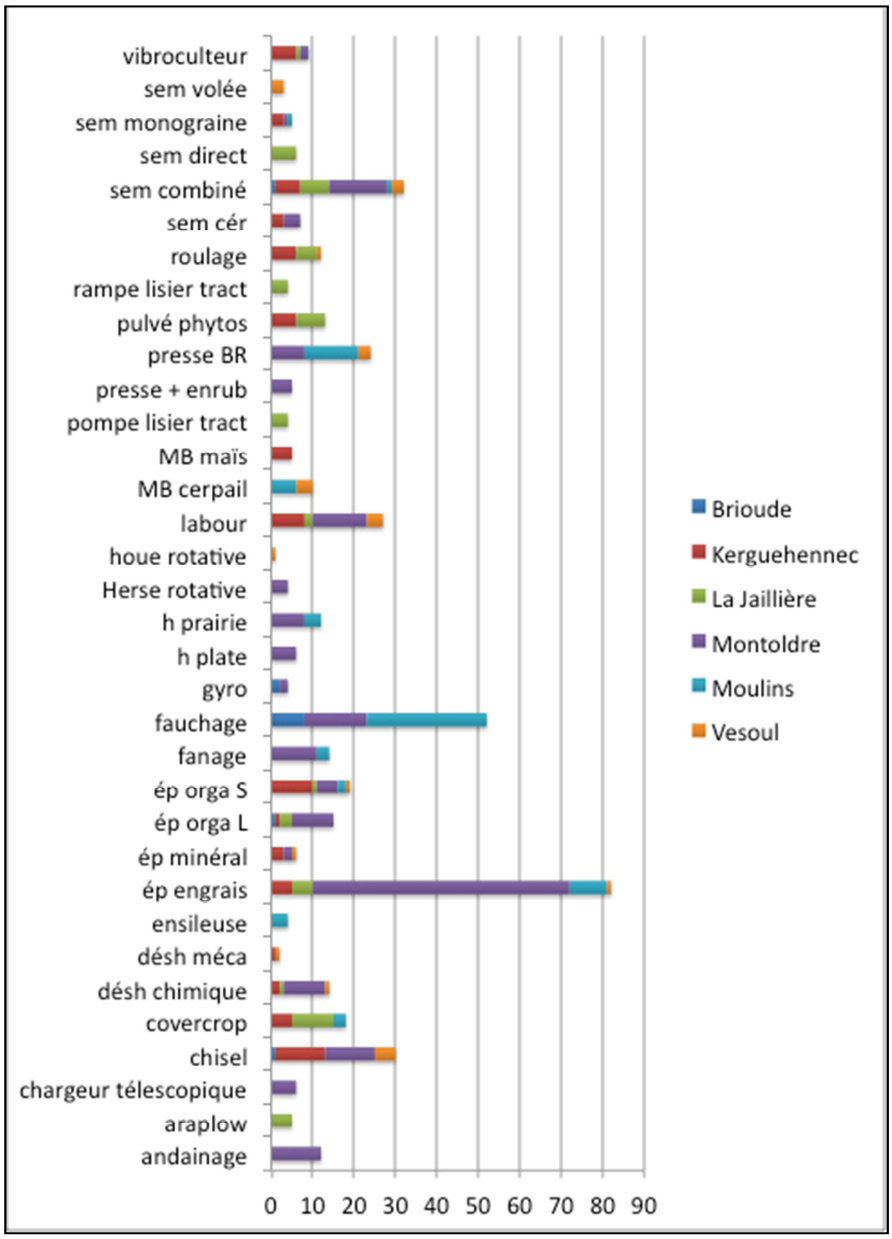


Figure 9 : Nature des opérations culturales mesurées

Au niveau de la consommation moyenne de carburant relevée, on observe une variabilité normale entre les opérations.

On retiendra que les opérations faisant appel à du matériel de labour, à la moissonneuse-batteuse pour la récolte de céréales, à l'ensileuse et à la herse rotative sont les plus gourmandes. *A contrario*, les opérations de traitements phytosanitaires, d'épandage d'engrais, de semis à la volée, d'andainage et de fanage sont les moins consommatrices (figure 10).

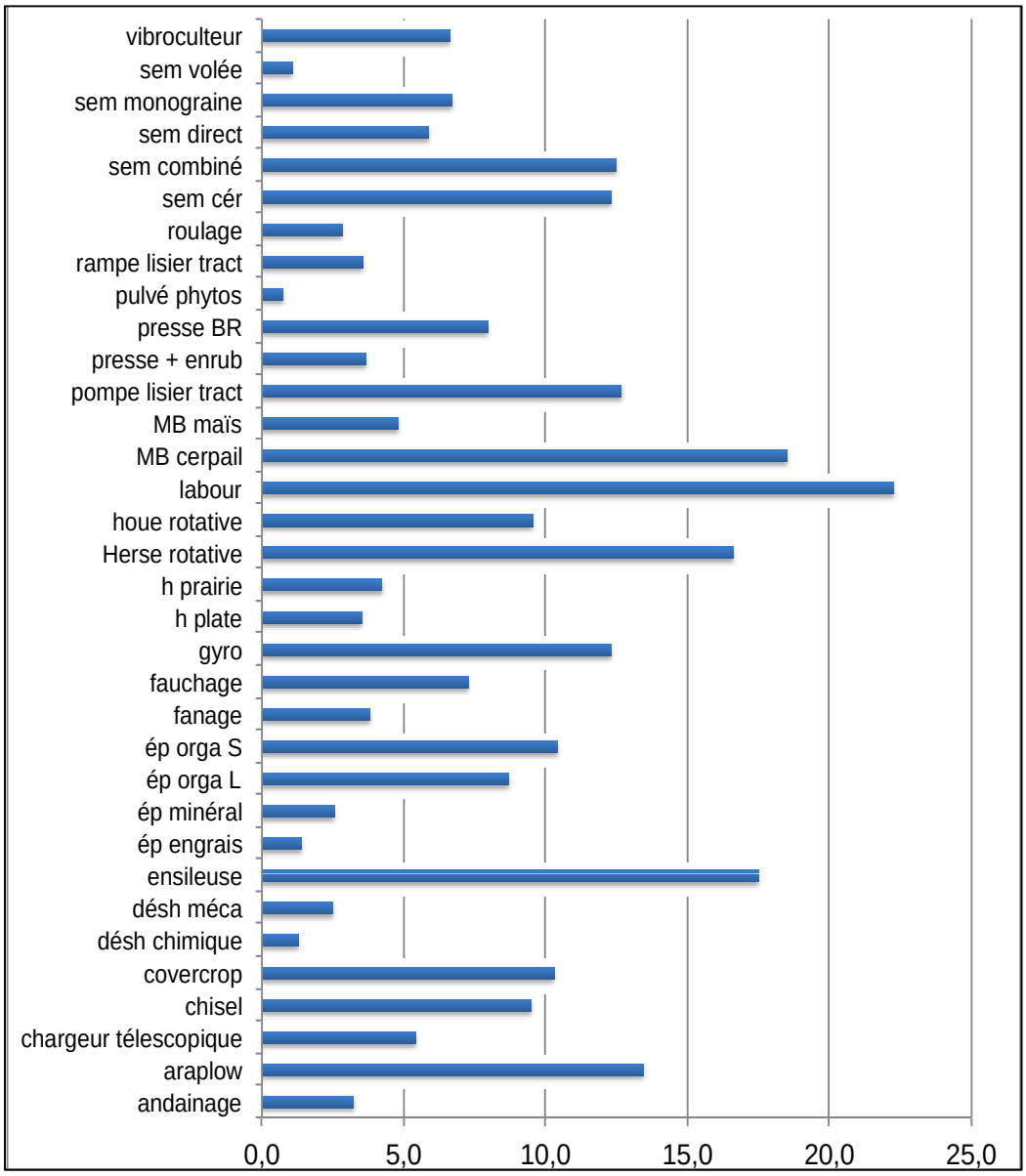


Figure 10 : Consommations moyennes relevées (en L/ha)

➢ Zoom sur le travail du sol

Les données collectées sur les sites pilotes ont été comparées avec les références issues des outils suivants :

- EGES® : outil pour évaluer le solde énergétique et les émissions de gaz à effet de serre sur la rotation,
- Dia'terre® : outil ADEME de diagnostic énergie-gaz à effet de serre- à l'échelle de l'exploitation agricole conçu dans le cadre du Plan de Performance Energétique (PPE),
- la base de données Ecoinvent : une des bases de données ACV internationales les plus utilisées ; les données relatives aux opérations agricoles sont actuellement

majoritairement représentatives des systèmes de production suisses et donc pas toujours transposables à la France.

La figure 11 montre que les moyennes EnergéTIC sont assez bien cadrées par rapport aux données de références d'EGES®, Dia'terre® ou Ecoinvent. Les valeurs maximales observées pour l'utilisation de la herse rotative et pour le labour s'expliquent par un travail effectué sur des parcelles particulières du site de Montoldre et dans des conditions défavorables.

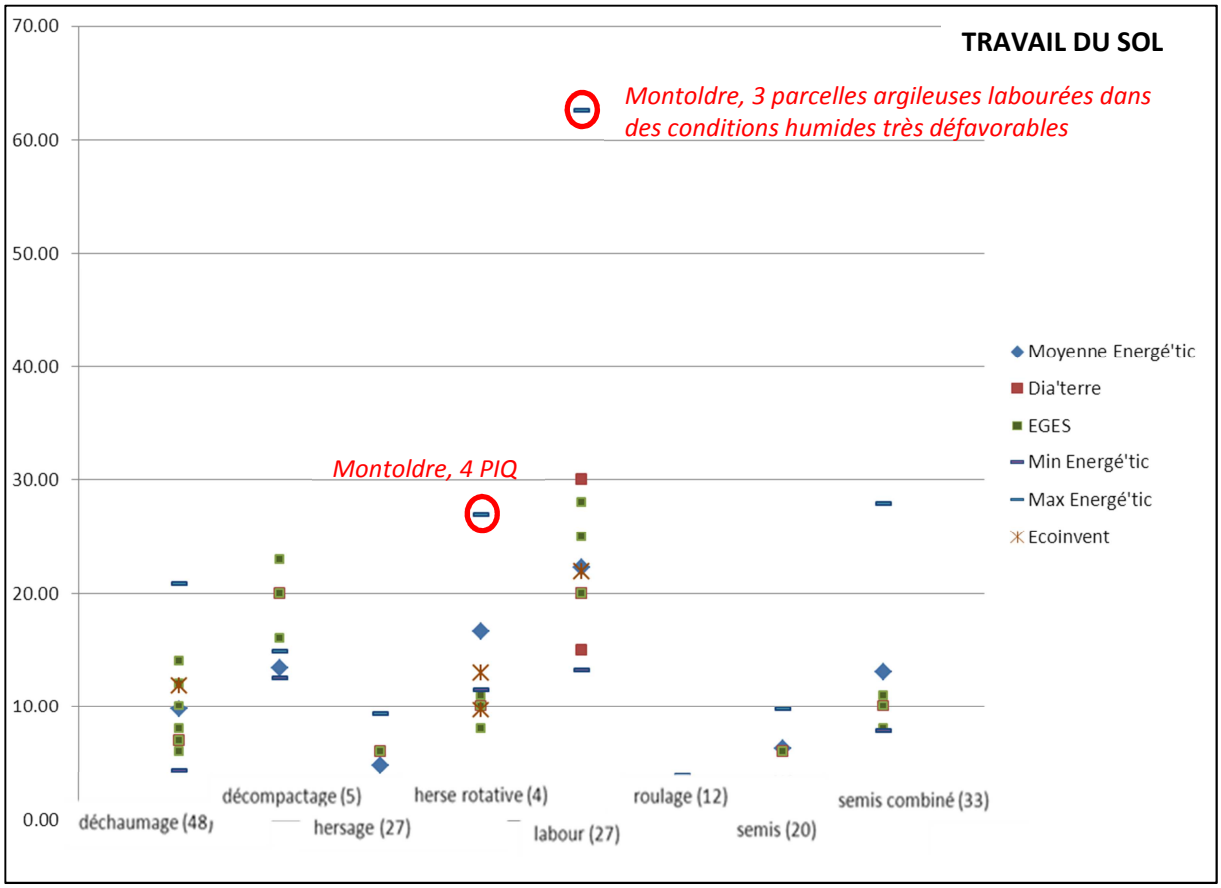


Figure 11 : Consommations moyennes en L/ha pour les opérations de travail du sol en comparaison avec les références

En excluant les trois parcelles non représentatives, on obtient une moyenne EnergéTIC pour le labour de 18,7 L/ha, avec une valeur maximale de 22,9 L/ha (figure 12). En comparaison, la référence Dia'terre® apparaît comme élevée, alors que les références EGES® sont bien cadrées.

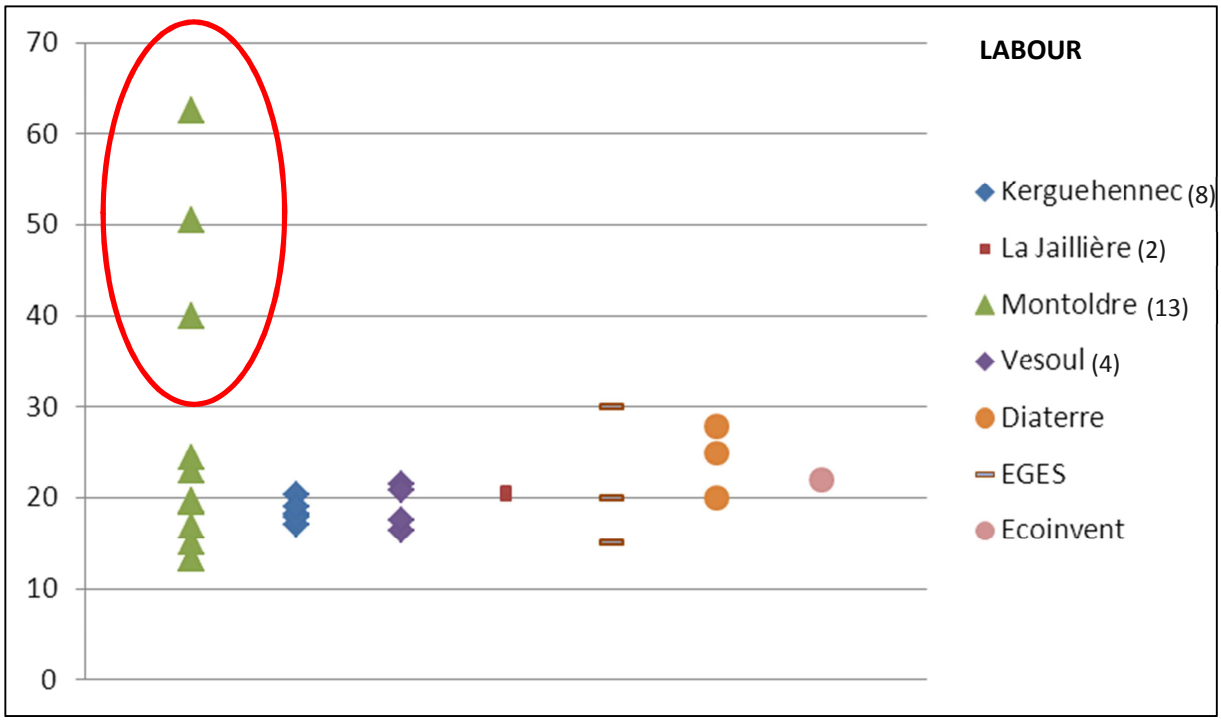


Figure 12 : Zoom sur les consommations en L/ha par site pilote en situation de labour en comparaison avec les références

En moyenne, sur l'ensemble des mesures effectuées en déchaumage, on obtient une valeur de 9,7 L/ha (figure 13 et tableau 3).
Les différences observées entre sites pilotes peuvent s'expliquer par le parcellaire, ainsi que par la taille de l'outil couplée à la puissance du tracteur.
Des différences de mesures sur un même site ou entre sites peuvent s'expliquer par l'utilisation du chisel ou du covercrop, le chisel étant un des outils les plus variables.
Le covercrop est employé sur une moindre profondeur de travail que le chisel. La période de travail comme le type de sol vont également rentrer en jeu. Par exemple, dans le cas du site de La Jaillière, les deux plus fortes mesures correspondent à un déchaumage plus profond, réalisé au printemps, dans des conditions humides, alors que les autres mesures correspondent à un déchaumage superficiel, réalisé à l'automne, dans des conditions sèches.
Le nombre de passages rendant le travail plus facile est aussi un facteur explicatif.
Enfin, dans les mesures prises en compte dans l'opération de déchaumage, le pseudo-labour est inclus.
En bref, le débit de chantier et la consommation lors de l'utilisation du chisel sont conditionnés :

- par la saison d'intervention avec des variations d'humidité de sol et donc d'adhérence du tracteur ;
- par la profondeur de travail qui varie pour une opération de déchaumage de 10 cm de profondeur à 25 cm pour un pseudo-labour ;
- par le rang de passage (1er, second…), qui entraîne une résistance du sol différente.

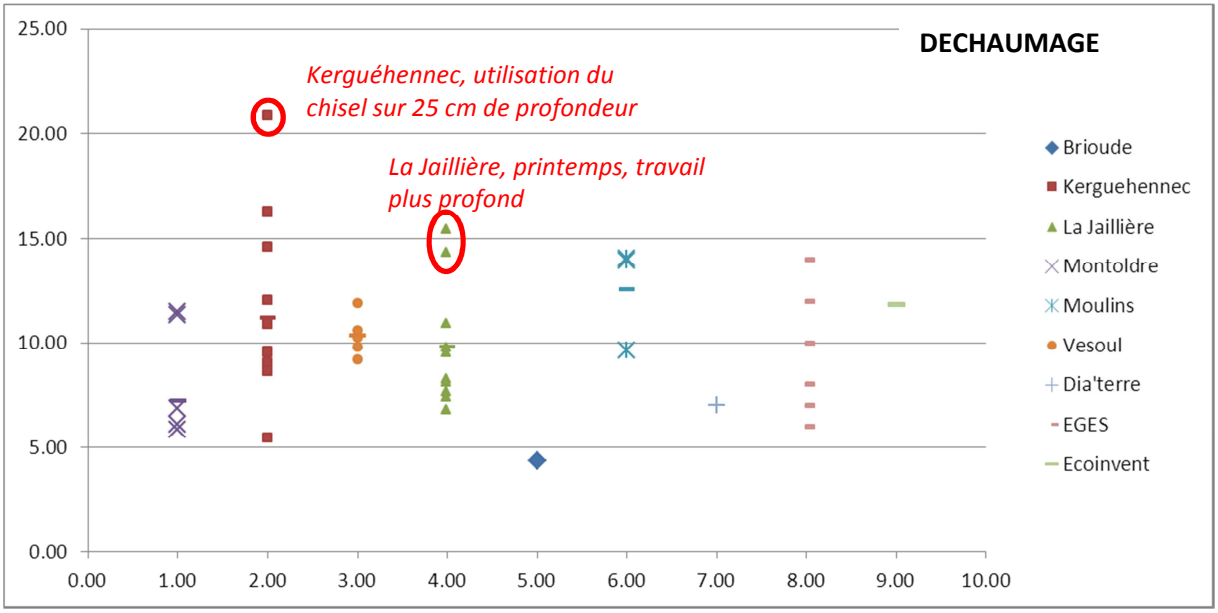


Figure 13 : Zoom sur les consommations en carburant en L/ha par site pilote en situation de déchaumage en comparaison avec les références *(la moyenne est indiquée par un trait horizontal)*

Tableau 3 : Résultats par site pilote en situation de déchaumage
(17 cas de chisel et 15 cas de covercrop)

Sites (nb interventions enregistrées)	Débit net (ha/h)			Conso (l/ha)		
	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max
Montoldre (5)	1.8	0.7	2.2	7.2	6.1	12.6
Kerguehennec (9)	1.4	1	1.8	11.3	9	16.2
Vesoul (5)	-	-	-	10.3	9.2	11.9
La Jaillière (10)	1.8	1.6	1.9	9.8	6.8	15.5
Moulins (3)	1.2	1.1	1.2	12.6	9.6	14.1

En moyenne, sur l'ensemble des sites pilotes, on trouve dans le cas de l'utilisation du chisel, un rendement de chantier de 1,6 ha/h et une consommation de 10,3 L/ha, et dans le cas du covercrop, un rendement de chantier de 1,7 ha/h pour une consommation de 9,5 L/ha (tableaux 4).

Tableaux 4 : Résultats par site pilote en situation de déchaumage avec un chisel ou un covercrop

CHISEL

Sites (nb interventions enregistrées)	Débit net (ha/h)			Conso (l/ha)		
	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max
Montoldre (5)	1.8	0.7	2.2	7.2	6.1	12.6
Kerguehennec (9)	1.2	1	1.8	11.3	9	16.2
Vesoul (5)	-	-	-	10.3	9.2	11.9

COVERCROP

Sites (nb interventions enregistrées)	Débit net (ha/h)			Conso (l/ha)		
	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max
Kerguehennec (2)	1.7	-	-	9.9	9.6	11
La Jaillière (10)	1.8	1.6	1.9	9.8	6.8	15.5
Moulins (3)	1.2	1.1	1.2	12.6	9.6	14.1

Les figures 14 et 15 présentent les résultats en les comparant avec la formule théorique basée sur 0,22 L/ch/h avec un taux de charge de 0,6 pour le travail du chisel et du covercrop. On observe, dans le cas du chisel, que l'estimation théorique de la consommation de carburant est globalement supérieure aux mesures EnergéTIC des sites pilotes. Dans le cas du covercrop, l'estimation théorique de la consommation de carburant se situe principalement en-dessous des mesures EnergéTIC. Pour une majorité de parcelles, l'écart entre la consommation mesurée et l'estimation théorique est compris entre -3 et +3 L/ha.

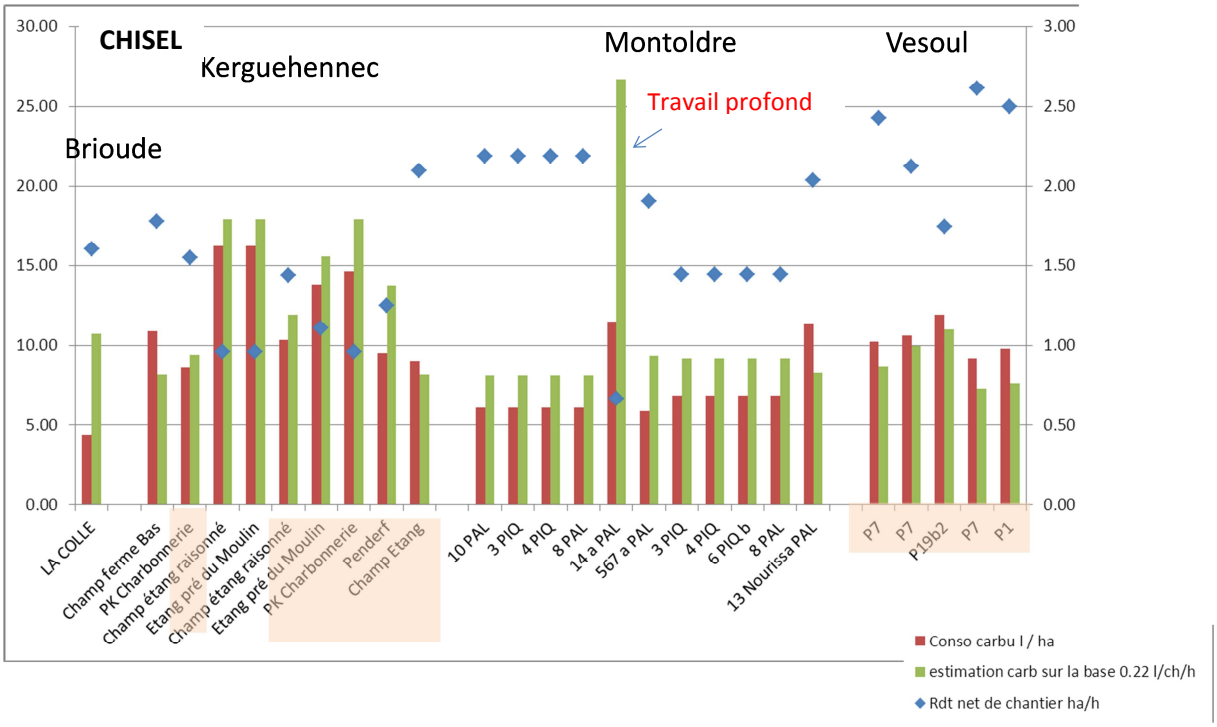


Figure 14 : Comparaison des mesures EnergéTIC pour l'utilisation du chisel avec l'estimation théorique : 0,6*nb cv*0,22/débit net ou brut *(cas des parcelles encadrées en rose)*

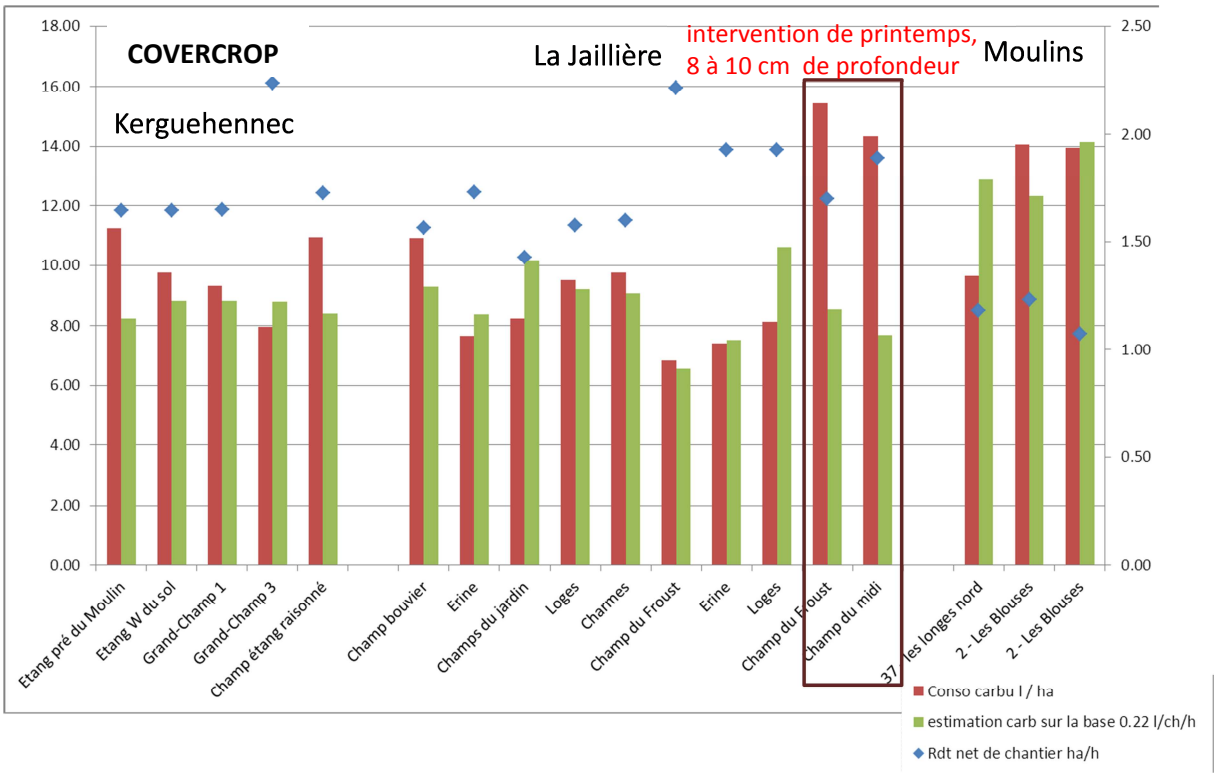


Figure 15 : Comparaison des mesures EnergéTIC pour l'utilisation du covercrop avec l'estimation théorique : 0,6*nb cv*0,22/débit net ou brut *(cas des parcelles encadrées en rose)*

Pour le semis combiné (figures 16 et 17, tableau 5), la moyenne des consommations de carburant sur l'ensemble des sites est de 13,3 L/ha. On observe une forte disparité selon les sites pilotes, les moyennes variant entre 10,6 et 18,0 L/ha qui peuvent s'expliquer par la combinaison d'outils utilisés, le type de semoir et de semis, la vitesse de passage, la saison.

En effet, les combinés de semis varient :

- par l'outil de préparation du sol qui est en général animé par prise de force à axe vertical (herse rotative) ou à axe horizontal (rotalabour par exemple) ;
- mais aussi par le semoir, céréales ou monograine, ce dernier pouvant être équipé de 4 à 6 rangs pour 3m de travail.

De plus, ces combinaisons peuvent être couplées à l'utilisation d'un outil à l'avant du tracteur : de tasse avant qui aura peu d'influence sur la consommation ou de pré-préparation du sol (vibroculteur, chisel) qui lui modifiera très sensiblement les résultats notamment en abaissant la vitesse de travail.

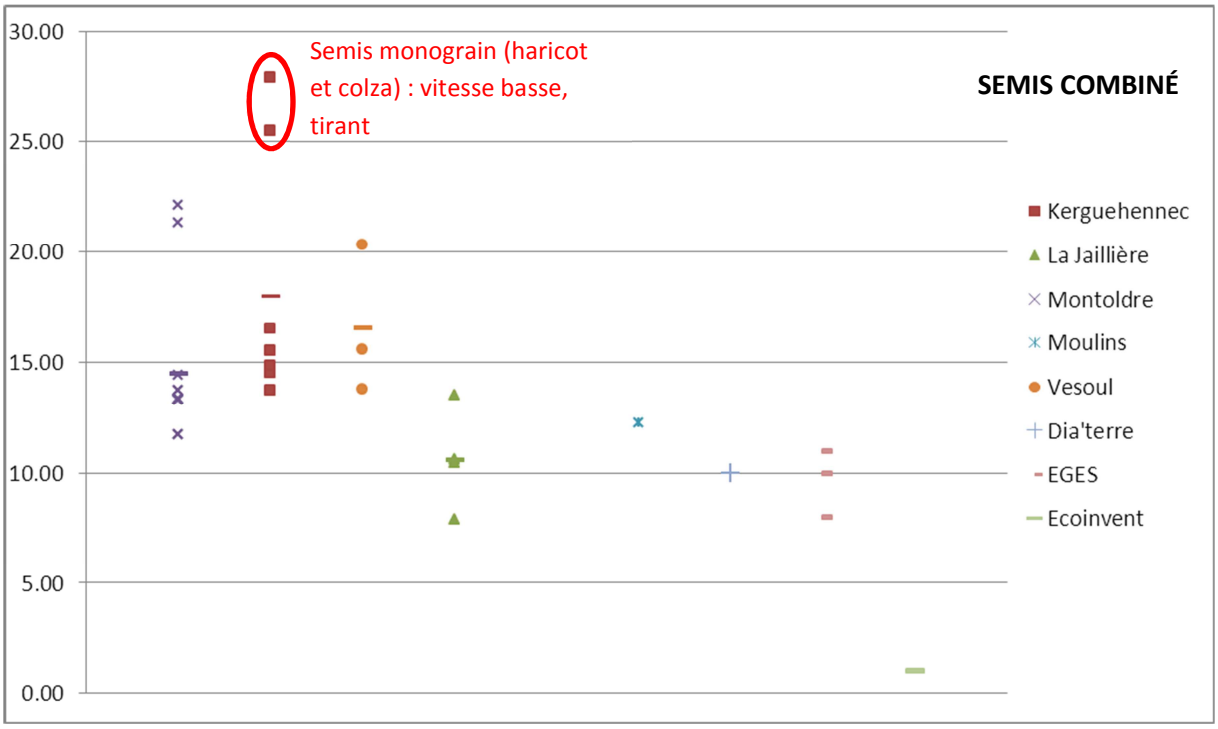


Figure 16 : Zoom sur les consommations de carburant en L/ha par site pilote en situation de semis combiné en comparaison avec les références *(la moyenne est indiquée par un trait horizontal)*

Tableau 5 : Résultats par site pilote en situation de semis combiné

Sites (nb interventions enregistrées)	Débit net (ha/h)			Conso (l/ha)		
	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max
Montoldre (14)	0.7	0.4	0.8	14.4	11.7	22.1
Kerguehennec (11)	-	-	-	18	13.7	27.9
Vesoul (3)	-	-	-	16.5	13.8	20.3
La Jaillière (4)	1	0.8	1.2	10.6	7.9	13.5
Moulins (1)	0.6	-	-	12.3	-	-

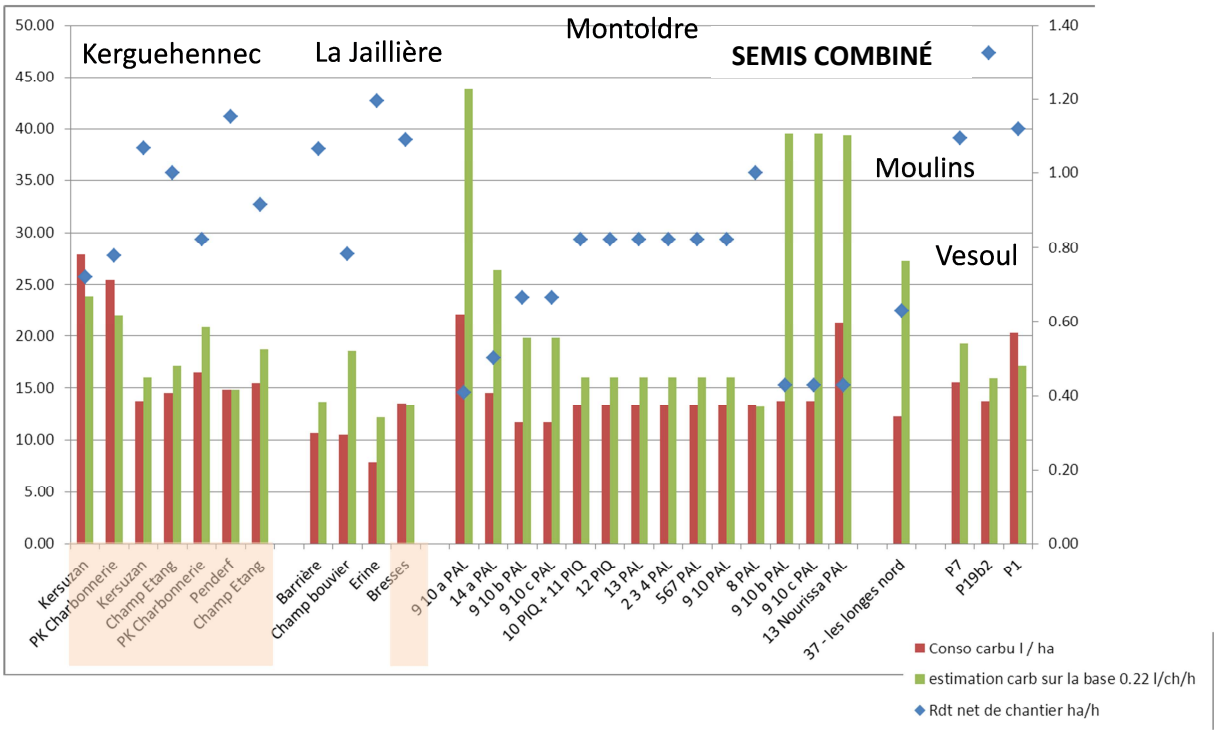
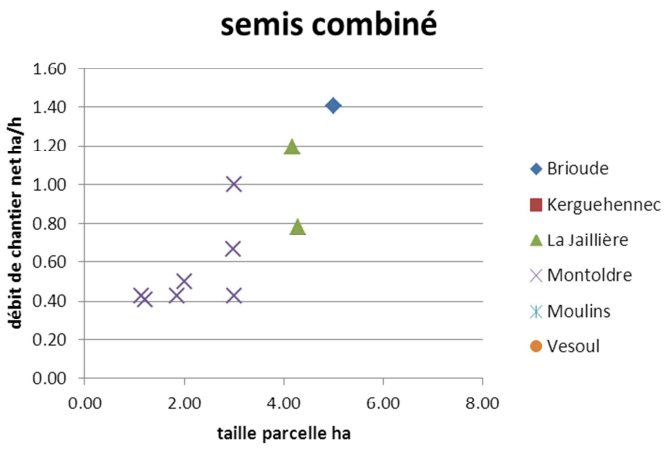


Figure 17 : Comparaison des mesures EnergéTIC pour du semis combiné avec l'estimation théorique : 0,6*nb cv*0,22/débit net ou brut *(cas des parcelles encadrées en rose)*

Les données collectées ont permis d'étudier un facteur pouvant expliquer la variabilité des débits de chantier et de consommation de carburant : la taille des parcelles.

On ne peut établir de relations entre la taille de la parcelle et le débit de chantier pour le semis combiné (figure 18), comme pour l'utilisation du covercrop ou du chisel.



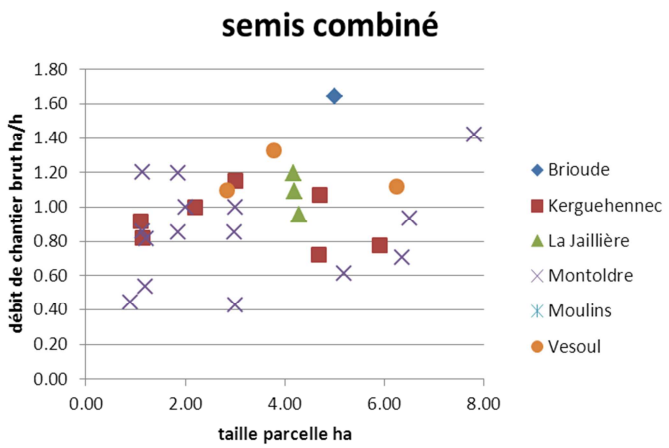


Figure 18 : Relation entre le débit de chantier et la taille de la parcelle dans le cas du semis combiné

➢ Zoom sur l'épandage de fertilisants organiques et minéraux

La moyenne sur l'ensemble des mesures EnergéTIC des sites pilotes pour l'opération d'épandage organique solide s'élève à 10,7 L/ha, pour un total de 15 interventions enregistrées (figure 19 et tableaux 6-7). Les différences s'expliquent par le type de produit épandu, de la quantité épandue, du nombre de voyages par hectare et de la distance séparant le lieu de stockage de celui de l'épandage. Le type de produit épandu : fumier de volailles, fumier de bovins…, offre des caractéristiques très différentes quant à la densité qui peut varier de 250kg/m3 pour un fumier de volailles et dépasser 800kg/m3 pour un fumier de bovins. Pour un même volume utile d'épandeur, la masse de produit varie presque de 1 à 4. Par ailleurs, la valeur fertilisante efficace de ces produits varie en fonction du produit et de la saison d'épandage. Un maïs peut être fertilisé avec 40t/ha de fumier de bovins ou 7t/ha de fumier de volailles.

Dans le cas de Moulins, la consommation de carburant nettement supérieure à la moyenne associée à un débit de chantier très faible s'explique par le fait que le fumier a été directement épandu au champ après curage d'une stabulation libre, sans distinguer la partie épandage du transport jusqu'au champ.

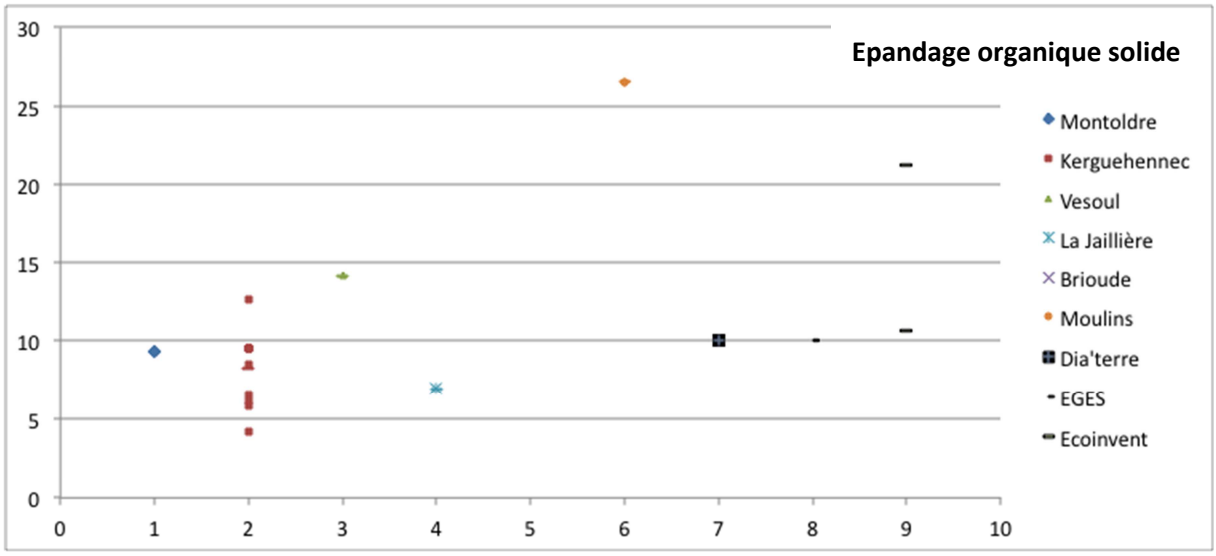


Figure 19 : Zoom sur les consommations de carburant en L/ha par site pilote en situation d'épandage organique solide en comparaison avec les références
(la moyenne est indiquée par un trait horizontal)

Tableau 6 : Résultats par site pilote en situation d'épandage organique solide

Sites (nb interventions enregistrées)	Débit net (ha/h)			Conso (l/ha)		
	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max
Montoldre (1)	3.67	1	8.5	8.4	4.5	
Kerguehennec (10)	2	0.3	3.75	8,2	4,2	12,6
Vesoul (1)	2.83	-	-	14,1	-	-
La Jaillière (1)	0.92	-	-	6,9	-	-
Brioude (0)	-	-	-	-	-	-
Moulins (2)	0,28	0,15	0,41	26,5	-	-

Tableau 7 : Moyennes des consommations d'énergie par hectare et par parcelle selon le type de produit organique solide épandu

Moyenne sur conso énergie / ha2 produit / parcelles	Vesoul	Moulins	Montoldre	La Jaillière	Kerguehennec
compost					
Penderff 2					5,8
Compost de bovins					
P7	14,1				
fumier					
16 - pré de la carrière		26,5			
19 - pré des bois		26,5			
Loges				6,9	
fumier bovin sur parcelle gc1					
Grand-Champ 1					9,5
Grand-Champ 3					9,5
fumier bovin sur parcelle moulin					
Champ étang raisonné					9,5
Etang pré du Moulin					9,5
fumier cheval julie					
Champ ferme transfert					12,7
Fumier composté					
1 PIQ			9,3		
12 PIQ			9,3		
2 PIQ			9,3		
fumier volaille					
Champ Etang					6,1
Champ étang raisonné					6,5
Etang pré du Moulin					8,5
PK Charbonnerie					4,2
terre + fumier			**6,9**		
24 PAL			4,5		
5 PIQ			9,3		

Concernant l'épandage organique liquide, quinze interventions ont été enregistrées par les sites pilotes, avec une consommation moyenne de 8,7 L/ha (figure 20).
La taille des outils, le volume épandu par hectare et la distance à la parcelle sont des facteurs explicatifs des différences observables (tableau 8). Dans le cas de la Jaillière, la consommation minimale de 9,2 L/ha correspond à une dose apportée de 23 m3/ha tandis que la consommation de 20,3 L/ha correspond à une dose de 49 m3. Dans ce cas, les consommations exprimées par rapport au volume seraient respectivement de 0,40 L/m3 et 0,41 L/m3.Ce mode d'expression réduit considérablement la variabilité.

Tableau 8 : Résultats par site pilote en situation d'épandage organique liquide

Sites (nb interventions enregistrées)	Débit net (ha/h)			Conso (l/ha)		
	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max
Montoldre (10)	3.7	1.4	4.5	5,8	4,5	10,6
Kerguehennec (1)	0.94	-	-	17,6	-	-
Vesoul (0)	-	-	-	-	-	-
La Jaillière (3)	-	-	-	15,5	9,2	20,3
Brioude (1)	1.2	-	-	8,3	-	-
Moulins (0)	-	-	-	-	-	-

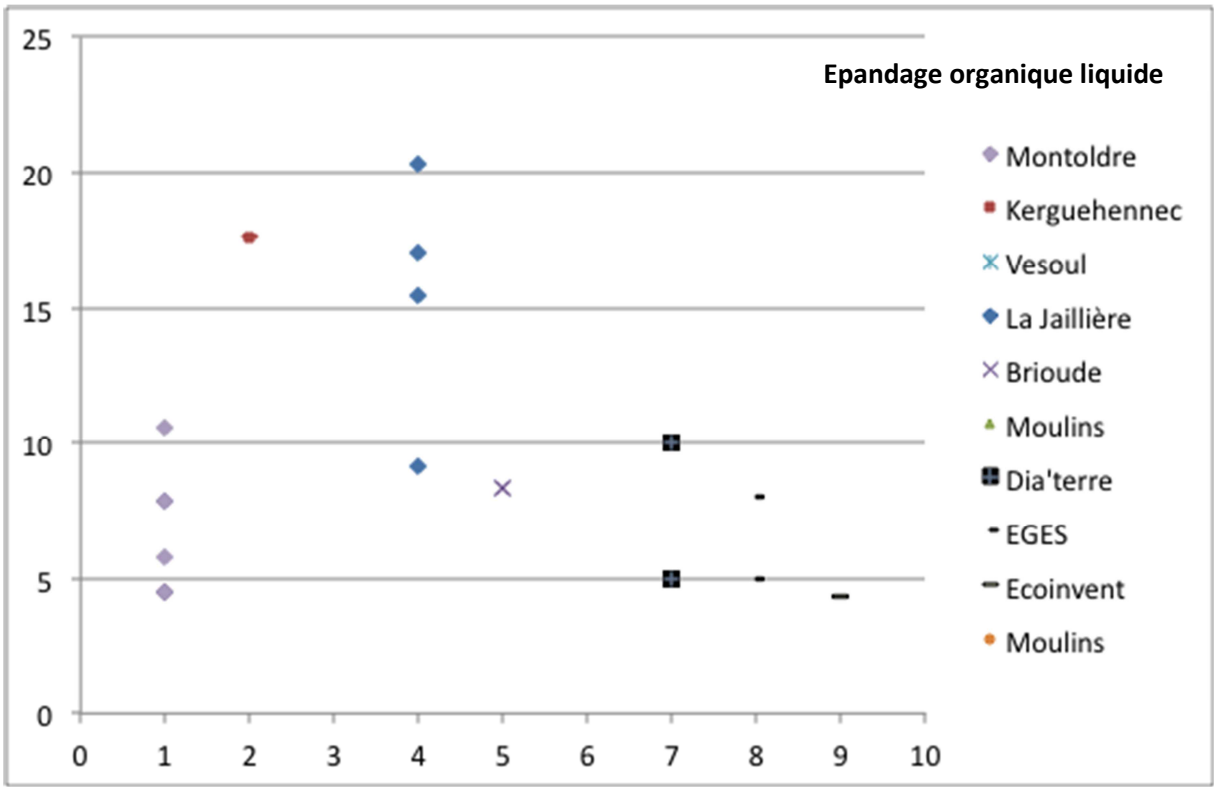


Figure 20 : Zoom sur les consommations de carburant en L/ha par site pilote en situation d'épandage organique liquide en comparaison avec les références

L'impact du produit épandu reste difficilement décelable avec les mesures relevées sur les sites pilotes (tableau 9).

Tableau 9 : Moyennes des consommations d'énergie par hectare et par parcelle selon le type de produit organique liquide épandu

	Montoldre	La Jaillière	Kerguehennec	Brioude
Engrais "cemob"				
11 PAL	4,5			
13 PAL	4,5			
20 PAL	4,5			
21 PAL	4,5			
22 PAL	4,5			
25 PAL	4,5			
26 PAL	4,5			
Lisier de bovins				
STADE				8,3
Lisier VL		**15,5**		
Champ du Froust		20,3		
Champ du midi		17,0		
Champs du jardin		9,2		
Purin				
8 PAL	10,6			
non précisé :				
23 PAL	7,8			
24 PAL	7,8			
Kersuzan			17,6	

82 interventions ont été enregistrées sur les six sites (tableau 10), avec une consommation moyenne de 1,4 L/ha.
Les références Ecoinvent et EGES® se situent bien au-dessus des mesures EnergéTIC des sites pilotes (figure 21).

Tableau 10 : Résultats par site pilote en situation d'épandage d'engrais minéraux

Sites (nb interventions enregistrées)	Débit net (ha/h)			Conso (l/ha)		
	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max
Montoldre (22)	13.5	-	-	1,47	0,39	3,41
Kerguehennec (5)	7.3	-	-	1.06	0.76	1,50
Vesoul (0)	-	-	-	-	-	-
La Jaillière (5)	-	-	-	0,91	0,75	1,02
Brioude (0)	-	-	-	-	-	-
Moulins (1)	-	-	-	1,52	-	-

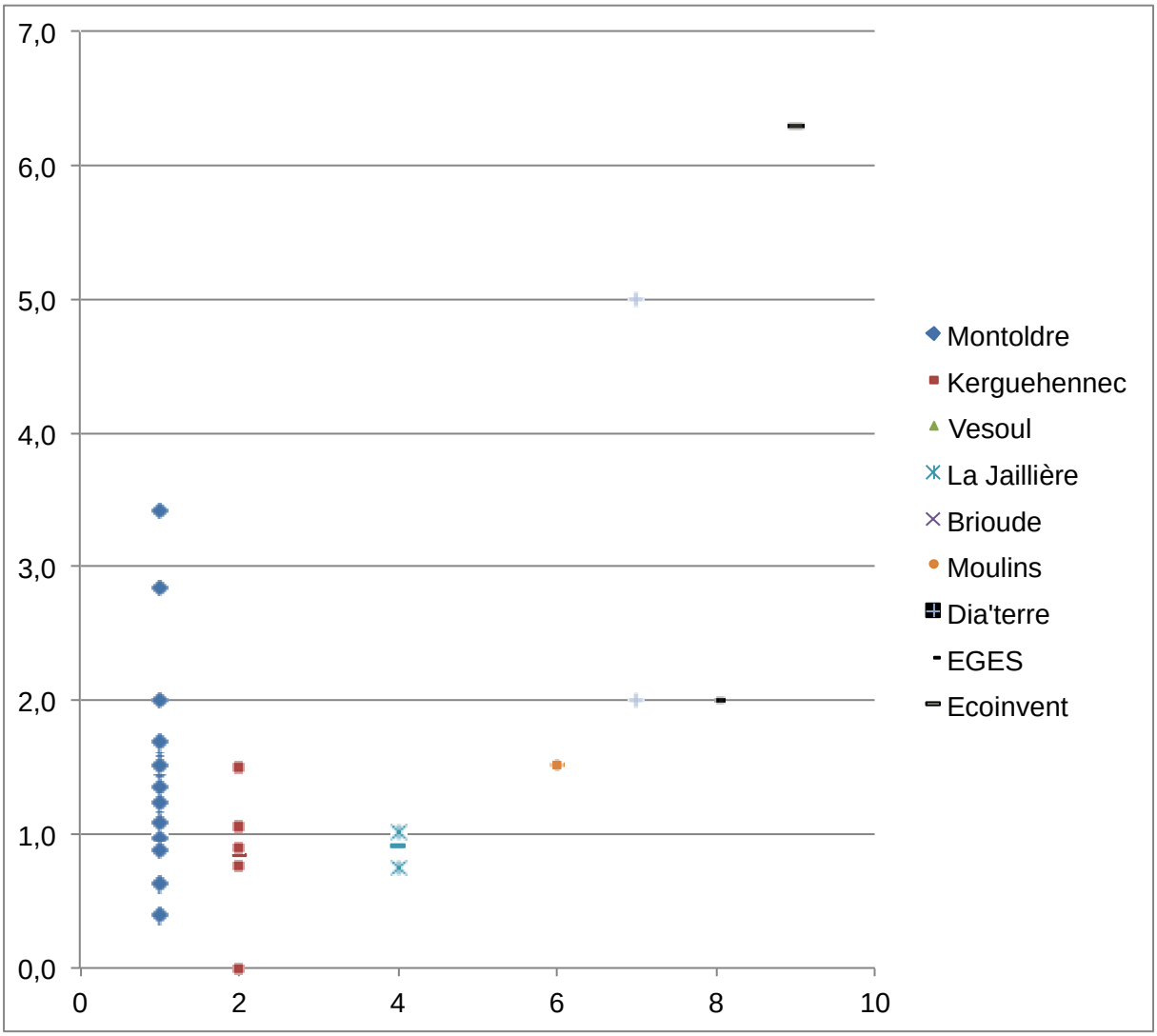


Figure 21 : Zoom sur les consommations de carburant en L/ha par site pilote en situation d'épandage d'engrais minéraux en comparaison avec les références

Le tableau 11 permet difficilement de déterminer s'il y a un impact sur la consommation d'énergie selon le type d'engrais utilisé. Peu de sites disposent de nombreuses mesures. On peut cependant souligner une certaine variabilité selon les engrais sur le site pilote de Montoldre : 1 à 1,5 L/ha pour les engrais ternaires et des résultats plus éparpillés selon la parcelle pour les engrais azotés simples.
Pour les engrais simples comme composés, les paramètres explicatifs des différences de consommation sont la dose, la largeur de l'épandage, la distance à parcourir ente le lieu de stockage et la parcelle.

Tableau 11 : Moyennes des consommations d'énergie par hectare et par parcelle selon le type d'engrais minéral épandu

Moyenne sur conso énergie / ha2 engrais / parcelle	Vesoul	Moulins	Montoldre	La Jaillière	Kerguehennec
14 - 4 - 29			**1,2**		
16 - 5 - 0			**1,2**		
17 - 0 - 13			**1,6**		
17 - 3 - 14			**1,3**		
17 - 5 - 7			**1,3**		
20 - 14 - 4			**1,0**		
23 - 5 - 0			**1,5**		
24 - 4 - 7			**1,5**		
27 - 0 - 0			**0,9**		
10 PIQ			1,7		
11 PIQ			1,7		
12 PIQ			2,0		
2 3 4 PAL			0,4		
5 PIQ			1,2		
567 a PAL			0,4		
567 b PAL			0,4		
8 PAL			0,4		
9 10 a PAL			0,4		
39 - 0 - 0			**0,8**		
13 PAL			0,4		
13 PIQ			0,6		
16 PAL			1,4		
2 3 4 PAL			0,6		
5 PIQ			1,2		
9 10 b PAL			0,9		
6 - 7 - 19			**2,5**		
1 PIQ			2,8		
12 PIQ			2,8		
5 PIQ			2,8		
8 PAL			1,5		
ammonitrate		**1,5**			
Amonitrate			**1,2**		
Amonitrate 27			**1,5**		
amonitrate 27%	**0,0**				
fertilisant					**0,8**
Champ ferme Bas					0,8
Charbonnerie Entrée					1,5
Etang bois					0,9
Grand-Champ 2					0,0
Grand-Champ 4-5					1,1
Kali			**1,2**		
PRP Sol			**1,7**		
sulfamo			**1,6**		
(vide)			**3,4**	**0,9**	

Enfin, pour les autres opérations culturales, la figure 22 présente les mesures EnergéTIC comparées aux références Dia'terre®, EGES® et Ecoinvent. On a pu observer globalement une cohérence entre ces références et les mesures d'EGES.

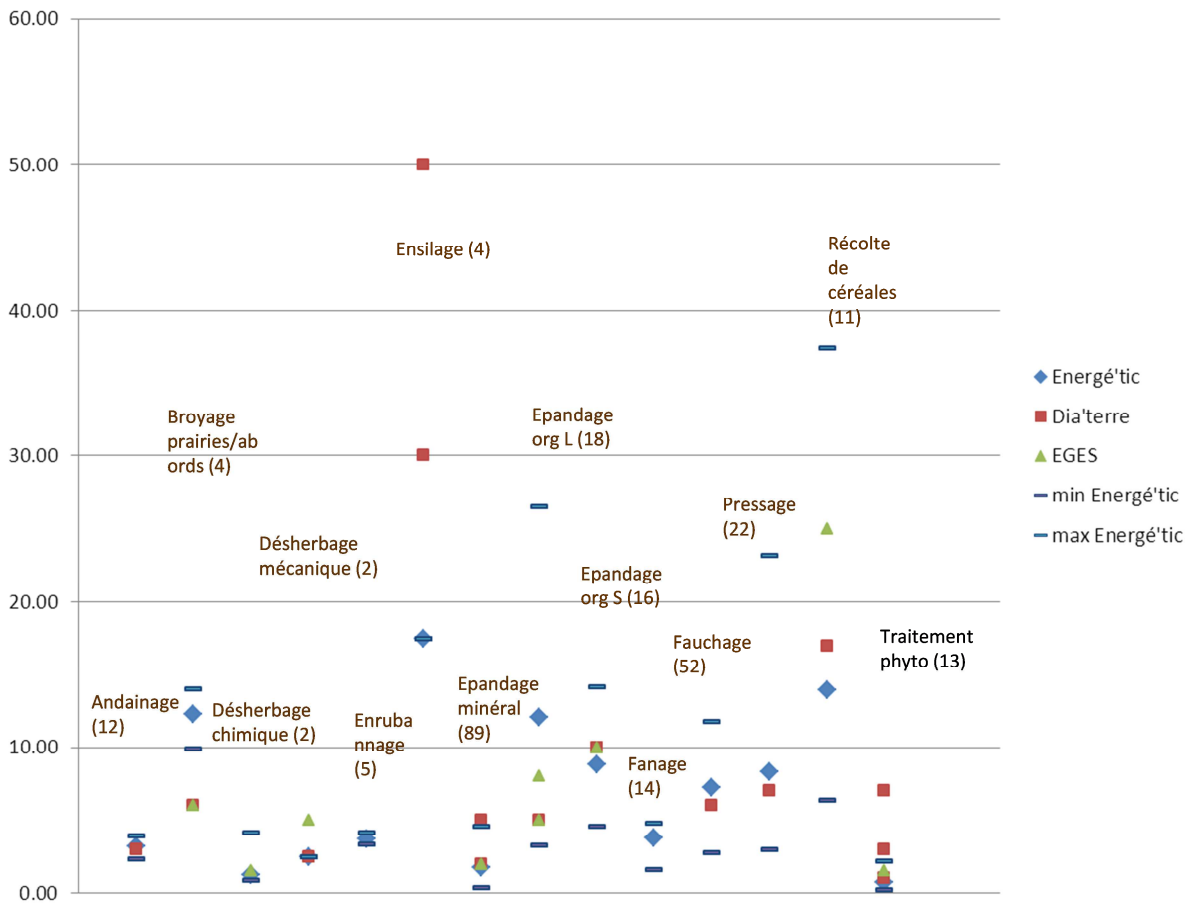


Figure 22 : Consommations moyennes en L/ha pour les autres opérations enregistrées sur les sites pilotes en comparaison avec les références

Pour en savoir plus :

MERLE, A. (rapport de stage, juin 2011). "Evaluation fine des performances énergétiques des exploitations agricoles par l'utilisation des nouvelles techniques d'information et de communication (NTIC)". Licence Conseiller en maîtrise de l'énergie dans le secteur agricole (COMESA), Université de Savoie, CISM, 45 p.

5 – Etude de faisabilité d'un tel système d'acquisition et d'information pour le pilotage tactique et opérationnel des exploitations agricoles et l'alimentation de référentiels

La faisabilité d'un système d'acquisition d'information pour le pilotage tactique et opérationnel des exploitations agricoles et l'alimentation de référentiels a été faite au travers de ce projet. Nous avons montré qu'il était possible de proposer une chaine d'intégration logicielle depuis la donnée jusqu'à l'indicateur permettant grâce à la technologie des entrepôts de données une étude fine et spécifique pour chaque exploitation agricole de ses consommations énergétiques, mais également une approche plus globale suivant différentes thématiques. Par exemple, quelle est la moyenne des consommations énergétiques pour la production de blé dans l'ensemble des exploitations ?

Mais faisabilité ne veut pas dire opérationnalité immédiate. En effet, chaque module (acquisition, mise en base de données, intégration dans l'entrepôt) fonctionne de manière satisfaisante, avec bien entendu des marges de progrès, mais le passage à une réelle opérationnalité de cette solution devra passer par une automatisation du processus d'intégration des données. A ce stade de la faisabilité, il a fallu valider les processus de manière manuelle pour s'assurer de la validité et de la pertinence des informations, il faudra donc développer un flux de données délivré automatiquement des dispositifs embarqués vers l'entrepôt de données tout en s'assurant de la qualité des données intégrées. Pour cela, il faudra déployer les modules logiciels sur des serveurs accessibles via Internet depuis les exploitations agricoles. Les données pourront ainsi directement alimenter l'entrepôt de données et la navigation en ligne dans l'entrepôt sera possible par tous. Ceci sera l'objet d'une des tâches du futur projet EDEN qui débutera en 2012.

Cette étude montre également que la diversité des données n'est pas une fin en soi dans ce type d'approche. Il vaut mieux privilégier la qualité à la quantité de données : il est plus pertinent (et plus facile à obtenir) d'avoir de gros volumes de bonne qualité d'un jeu restreint de données qu'un ensemble de données éparses qui au final est peu exploitable.

Nous avons également constaté au travers de cette étude, que la mise en place d'une solution d'acquisition embarquée d'acquisition bas-coût est une opération délicate à mettre en œuvre et demande beaucoup de travail de mise au point. Ce qui explique en partie l'absence d'une offre industrielle fiable et facilement utilisable.