

# Productivité horaire de la préparation mécanisée du site avant plantation : premiers résultats du réseau Pilote

Rédacteurs : Malaurie Puyal (INRAE), Chloé Agro (INRAE), Catherine Collet (INRAE), Noé Dumas (INRAE), Jonathan Pitaud (ONF), Christophe VIDAL (CNPFF-IDF)

Mise à jour : 05/10/2022



Partenaires du réseau expérimental Pilote :



**Le projet a bénéficié du soutien de :**

Le Ministère de l'Agriculture et de  
l'Alimentation



La région Grand Est



Le Fonds National d'Aménagement et le  
Développement du Territoire



France Bois Forêt



Le RMT AFORCE



L'UE avec le FEADER



**UNION EUROPÉENNE**

Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural  
L'Europe investit dans les zones rurales

## Remerciements

Nous tenons à remercier tout particulièrement les différentes personnes qui ont participé activement à la mise en place de ce réseau expérimental, avec la rédaction des protocoles, l'installation des sites, la réalisation des mesures, l'analyse et le traitement des données, ainsi que la rédaction de documents techniques qui ont permis aujourd'hui de réaliser ce rapport :

- Emila AKROUME (ONF)
- Lucie ARNAUDET (ONF)
- Jordan BELLO (ONF)
- Alain BERTHELOT (FCBA)
- Didier BIER (ONF)
- Vincent BOULANGER (ONF)
- Antoine BOUSSIER (ONF)
- Aurore CALAS (ONF)
- François CONRARD (ONF)
- Daniel DEVANNE (ONF)
- Gilbert DOUZON (ONF)
- Fabien DUEZ (INRAE)
- Didier FRANCOIS (ONF)
- Gwenaëlle GIBAUD (ONF)
- Quentin GIRARD (ONF)
- Lindsay GODARD (INRAE)
- Dominique HERGIBAUD (ONF)
- Sébastien HARNIST (INRAE)
- Laurent LELASSEUR (ONF)
- Thibaud LOMBARD (ONF)
- Florentin MADROLLES (ONF)
- Odilon MONNIER (ONF)
- Xavier MONTAGNY (FCBA)
- Loïc NICOLAS (ONF)
- Jérôme PIAT (ONF)
- Charlotte PROULT (ONF)
- Claudine RICHTER (ONF)
- Alice SABINE (F&BE)
- Ceydric SEDILOT-GASMI (SF-CDC)
- Charles TROUVE (ONF)
- Erwin ULRICH (ONF)
- Florian VAST (INRAE)
- Mickael VIENNET (ONF)

## Table des matières

Liste des abréviations .....	5
Liste des tableaux .....	5
Liste des figures .....	6
<b>1. Contexte et présentation du réseau PILOTE .....</b>	<b>7</b>
1.1. Les sites du réseau.....	8
1.2. Les outils du réseau .....	11
1.3. Protocole initial pour le suivi de la préparation mécanisée des sites .....	11
<b>2. Données disponibles et traitement.....</b>	<b>13</b>
2.1. Suivi global : fiches navettes et carnets de bord .....	13
a. Fiches Navettes.....	13
b. Carnets de bord .....	13
2.2. Suivi fin des phases de travail de sol par chronométrage .....	14
2.3. Calcul de la productivité horaire et de la répartition des temps .....	19
a. Productivité horaire globale et répartition des temps.....	19
b. Durée de travail estimée, en heures, pour réaliser un hectare .....	19
2.4. Données complémentaires : fiche engins et outils .....	21
a. Description des outils .....	21
b. Description des porte-outils .....	22
<b>3. Suivi du travail de sol : Résultats.....</b>	<b>25</b>
3.1. Pré-traitement : suivi global à partir des données de suivi chantier.....	25
3.2. Résultats par outil.....	27
a. Culti-3B : travail du sol avec double passage .....	28
b. Charrue bidisques (CBD) : travail du sol avec double passage .....	30
c. DB10 : décapage, travail du sol en simple passage .....	32
d. Dent Maillard (DM) : décapage, travail du sol en simple passage .....	34
e. SSMF et ModulD : décapage, travail du sol, billonnage en simple passage.....	36
f. Razherb (RAZ) : décapage.....	39
g. Scarificateur réversible (SR) : décapage, travail du sol en simple passage .....	41
h. Sous-soleur simple (SSS) : travail du sol en simple passage .....	43
i. Sous-soleur deporté (SSD) : travail du sol avec double passage, en aller-retour.....	45
3.3. Par dispositif .....	47
<b>Annexes.....</b>	<b>54</b>
ANNEXE 1 : PRESENTATION DES OUTILS UTILISES DANS LE RESEAU PILOTE .....	55
ANNEXE 2 : MODELE DE FICHE NAVETTE POUR LE SUIVI GLOBAL.....	60
ANNEXE 3 : FICHE TERRAIN DE SUIVI FIN DE LA PHASE DE TRAVAIL DE SOL.....	64
ANNEXE 4 : MODELE DE CARNET DE BORD .....	65
ANNEXE 5 : FICHE MATERIEL .....	66

## Liste des abréviations

ARAA : Association pour la Relance Agronomique en Alsace  
C3B : Culti 3B  
CBD : Charrue Bidisques  
CNPf : Centre National de la Propriété Forestière  
CRI : Compte-rendu d'installation  
DB : Dent Bertrandie  
DM : Dent Maillard  
DSOL : Deltasol  
EG : Eléments grossiers  
FCBA : institut technologique Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement  
HERB : Herbicide  
INRAE : Institut National de la Recherche Agronomique et Environnementale  
MC : Meri Cusher  
ONF : Office National des Forêts  
PMS : Préparation mécanisée des sites  
RAZ : Razherb  
RP : Râteau Pompéi  
SR : Scarificateur Réversible  
SSS : Sous-soleur simple  
SSD : Sous-soleur déporté  
SSMF : Sous-soleur multifonctions  
SS2R : Sous-soleur Bertrandie  
TEM : Témoin  
TL : Technique Locale

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Présentation générale des différents dispositifs du réseau PILOTE .....	9
Tableau 2 : Présentation générale des différents dispositifs du réseau PILOTE (suite) .....	10
Tableau 3 : Répartition des outils utilisés dans les différents dispositifs du réseau PILOTE.....	11
Tableau 4 : Récapitulatif des informations "Carnets de Bord" disponibles pour les dispositifs du réseau PILOTE. L'information n'est pas disponible pour tous les dispositifs ou outils non listés.....	14
Tableau 5 : Durée totale de chronométrage réalisé par outil/modalité pour chaque dispositif du réseau PILOTE.....	15
Tableau 6 : Phase décrite et phase attribuée pour l'étude à partir des données chronométrages de Chaux	15
Tableau 7 : Phase décrite et réattribuée pour l'étude à partir des données chronométrages de la Celle d'Auvergne .....	16
Tableau 8 : Récapitulatif des phases utilisées dans les différents dispositifs et des concordances de ces phases entre dispositifs .....	18
Tableau 9 : Récapitulatif des informations Tracteurs, pelles et mini-pelles utilisées sur les différents dispositifs du réseau PILOTE.....	24
Tableau 10 : Tableau de conversion des h/ha en ha/h .....	27
Tableau 11 : Représentation photographiques des outils présentés.....	56
Tableau 12 : Représentation photographiques des outils présentés (2) .....	57
Tableau 13 : Représentation photographiques des outils présentés (3) .....	58
Tableau 14 : Représentation photographiques des outils présentés (4) .....	59

## Liste des figures

Figure 1 : Emplacement des dispositifs du Réseau PILOTE en France.....	8
Figure 2 : Schéma théorique de plantation utilisé pour exprimer les résultats en heures par hectare, Inspiré du schéma ONF – Lilian Duband, Mathieu Dulieu de Janvier 2021.....	20
Figure 3 : Récapitulatif des dispositifs, outils, modalités pour lesquelles on dispose de productivité horaire à partir de plusieurs types d'informations, pour un travail en ligne.....	25
Figure 4 : Récapitulatif des dispositifs, outils, modalités pour lesquelles on dispose de productivité horaire à partir de plusieurs types d'informations, pour un travail en potet.....	26
Figure 5 : Productivité horaire disponible, après traitement, pour le suivi global des modalités en travail en ligne.....	26
Figure 6 : Productivité horaire disponible, après traitement, pour le suivi global des modalités en travail par potet ou par plateau.....	27
Figure 7 : C3B - Productivité globale à partir des différentes informations disponibles.....	28
Figure 8 : C3B - Productivité effective à partir des données de suivi fin.....	28
Figure 9 : C3B - Répartition du temps de travail effectif par phase à partir des données de suivi fin.....	29
Figure 10 : C3B - Durée estimée en h/ha.....	29
Figure 11 : CBD - Productivité globale à partir des différentes informations disponibles.....	30
Figure 12 : CBD - Productivité effective à partir des données de suivi fin.....	30
Figure 13 : CBD - Répartition du temps de travail par phase à partir des données de suivi fin.....	31
Figure 14 : CBD – Durée de travail estimée en h/ha.....	31
Figure 15 : DB10 - Productivité globale à partir des différentes informations disponibles.....	32
Figure 16 : DB10 - Productivité effective à partir des données de suivi fin.....	32
Figure 17 : DB10 - Répartition du temps de travail par phase à partir des données de suivi fin.....	33
Figure 18 : DB10 – Durée de travail estimée en h/ha.....	33
Figure 19 : DM - Productivité globale à partir des différentes informations disponibles.....	34
Figure 20 : DM - Productivité effective à partir des données de suivi fin.....	34
Figure 21 : DM - Répartition du temps de travail par phase à partir des données de suivi fin.....	35
Figure 22 : DM – Durée de travail estimée en h/ha.....	35
Figure 23 : SSMF et ModulD - Productivité globale (haut : placeaux/h, milieu : potets/h, bas : m/h) à partir des différentes informations disponibles.....	36
Figure 24 : SSMF et ModulD - Productivité effective (haut : placeaux/h, milieu : potets/h, bas : m/h) à partir des différentes informations disponibles.....	37
Figure 25 : SSMF et ModulD - Répartition du temps de travail par phase à partir des données de suivi fin.....	38
Figure 26 : SSMF et ModulD – Durée de travail estimée en h/ha.....	38
Figure 27 : RAZ - Productivité globale à partir des différentes informations disponibles.....	39
Figure 28 : RAZ - Productivité effective à partir des données de suivi fin.....	39
Figure 29 : RAZ - Répartition du temps de travail par phase à partir des données de suivi fin.....	40
Figure 30 : RAZ - Productivité effective estimée en h/ha.....	40
Figure 31 : SR - Productivité globale à partir des différentes informations disponibles.....	41
Figure 32 : SR - Productivité effective à partir des données de suivi fin.....	41
Figure 33 : SR - Répartition du temps de travail par phase à partir des données de suivi fin.....	42
Figure 34 : SR – Durée de travail estimée en h/ha.....	42
Figure 35 : SSS - Productivité globale à partir des différentes informations disponibles.....	43
Figure 36 : SSS - Productivité effective à partir des données de suivi fin.....	43
Figure 37 : SSS - Répartition du temps de travail par phase à partir des données de suivi fin.....	44
Figure 38 : SSS – Durée de travail estimée en h/ha.....	44
Figure 39 : SSD - Productivité globale à partir des différentes informations disponibles.....	45
Figure 40 : SSD - Productivité effective à partir des données de suivi fin.....	45
Figure 41 : SSD - Répartition du temps de travail par phase à partir des données de suivi fin.....	46
Figure 42 : SSD - Durée de travail estimée en h/ha.....	46
Figure 43 : Productivité et coûts de la PMS pour les différentes modalités testées sur le dispositif de Bord-Louviers.....	47
Figure 44 : Représentations graphiques de la productivité horaire (m/h) en fonction des outils et des modalités évaluées, pour chaque site du réseau PILOTE.....	48

## 1. Contexte et présentation du réseau PILOTE

Face aux changements globaux annoncés, le système de la plantation forestière s'annonce comme un outil majeur d'adaptation et de pérennité de nos forêts. Si le système de plantation est un mode de gestion adapté à de nombreux contextes, il subsiste néanmoins d'importants problèmes opérationnels liés à la phase critique que représente l'installation du peuplement. Parmi les opérations réalisées lors de la plantation, on retrouve l'étape de Préparation Mécanisée des Sites (PMS). Cette étape, qui précède la plantation, a pour objectifs de lever les différentes contraintes pouvant freiner ou même compromettre l'installation et le développement des plants (végétation concurrente trop importante, sols compactés ou engorgés...). La PMS concentre cependant une part importante des problématiques que l'on retrouve dans les systèmes de plantation forestière :

- la PMS est une étape coûteuse et sa réalisation conditionne souvent la réussite des plantations ;
- la PMS est en partie à l'origine des dommages environnementaux associés à la plantation, notamment sur l'intégrité du couvert végétal, la perturbation des sols et la pollution du milieu ;
- la PMS contribue à la perception négative de la plantation par le public ;
- sur un plan technique, la maîtrise de la PMS par les opérateurs n'est pas toujours assurée.

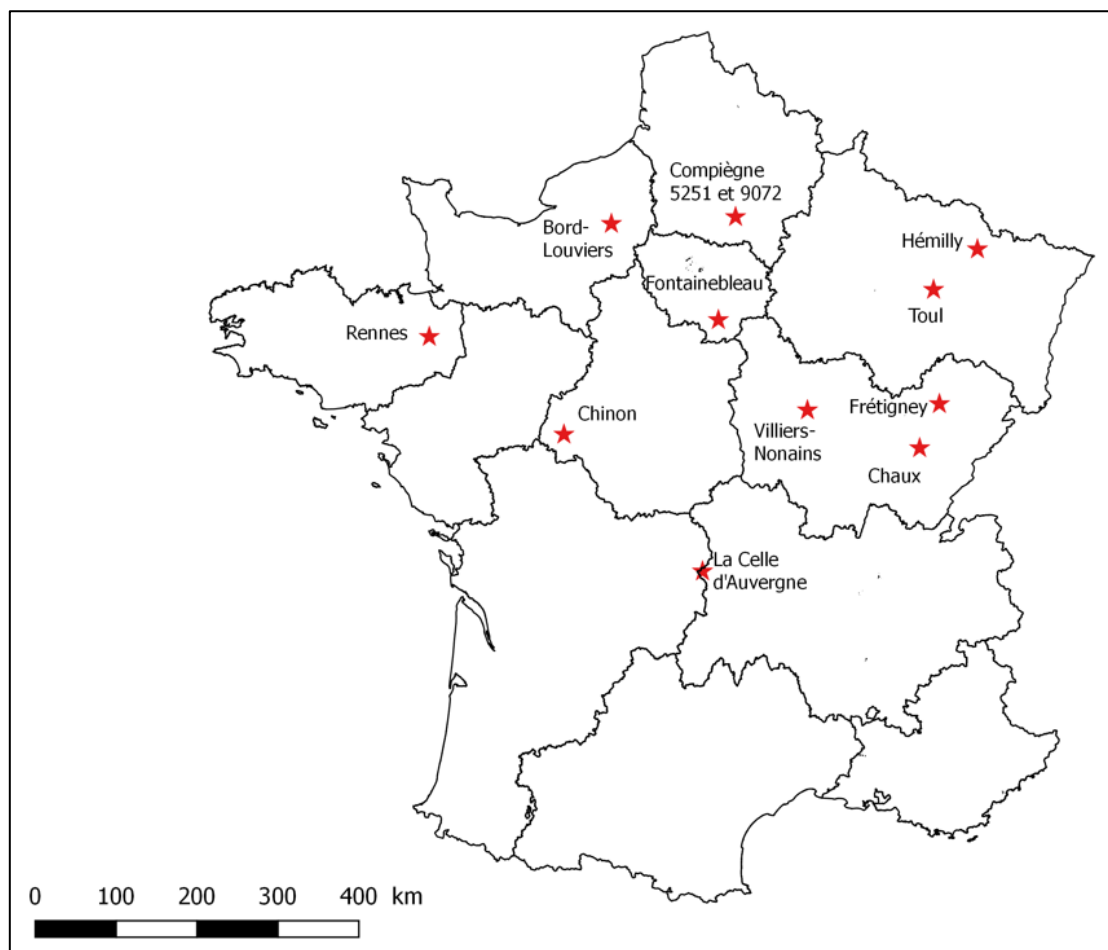
Au cours de ces dernières années, le retrait progressif des herbicides en forêt a de plus entraîné un essor de l'utilisation de la PMS avant plantation dans les contextes bloquants où les herbicides étaient autrefois utilisés (ex : forte végétation concurrente).

En réponse à ce contexte, un partenariat d'organismes (Alliance Forêts Bois, AgroParisTech, CNPF, FCBA, INRAE, ONF, Société Forestière) a lancé le projet PILOTE en 2013. Ce projet a pour objectif de tester et caractériser de nouvelles méthodes pour effectuer les travaux préparatoires à la plantation (préparation mécanisée du site, contrôle de la végétation). Ces méthodes se basent notamment sur l'utilisation de nouveaux outils mécanisés montés sur tracteur forestier, pelle mécanique ou mini-pelle.

Un premier objectif du projet est de délimiter le champ d'application des méthodes, en termes de conditions stationnelles, notamment par rapport au sol et à la végétation. Il vise aussi à intégrer les méthodes testées dans des itinéraires techniques de plantation complets jusqu'à acquisition de la régénération, et d'en estimer les coûts de mise en œuvre, en comparaison avec des méthodes traditionnelles. Enfin, le dernier objectif est de diffuser les connaissances acquises sur ces méthodes.

Le projet se base sur un réseau de chantiers comparatifs de plantation installés dans différents contextes de plantation, à travers plusieurs régions en France. Depuis le lancement du projet, 11 dispositifs ont été installés :

- 2013 : Forêt domaniale de Bord-Louviers (27)
- 2013 : Forêt domaniale de Compiègne (60) avec 2 parcelles (5251 et 9072)
- 2013 : Forêt domaniale de Fontainebleau (77)
- 2013 : Forêt domaniale de Chaux (39) avec 2 parcelles (1026 et 212)
- 2013 : Forêt privée à Fréteville (70)
- 2014 : Forêt domaniale de Chinon (37)
- 2015 : Forêt domaniale de Rennes (35)
- 2016 : Forêt privée de La Celle d'Auvergne (63)
- 2017 : Forêt privée à Toul (54)
- 2017 : Forêt privée à Villiers-Nonains (89)
- 2018 : Forêt domaniale de Hémilly (57)



*Figure 1 : Emplacement des dispositifs du Réseau PILOTE en France*

Chaque dispositif installé possède ses propres caractéristiques (topographique, climat, sol, végétation) qui seront détaillées par la suite. A ce jour, 15 outils ont été testés dans le réseau, dans l'ensemble des dispositifs. Certains outils ont été utilisés dans différents dispositifs, et d'autres uniquement dans un seul dispositif. Pour un même outil, différentes méthodes de PMS ont pu être réalisées.

Chaque dispositif a été et continue d'être suivi sur l'entièreté de l'itinéraire technique de plantation, c'est-à-dire jusqu'à l'acquisition de la plantation (période de 10 ans prévue sur le projet). Cela comprend les suivis de la PMS, de la plantation, de la reprise des plants et de la croissance, du cortège floristique, ainsi que des dégagements des plants pour le contrôle de la végétation.

**Ce dossier vise à récapituler les résultats obtenus suite à l'étape de préparation du site réalisée sur les différents dispositifs du réseau. Il ne reprend pas les résultats de reprise et croissance des plants.**

## 1.1. Les sites du réseau

Lors de l'installation des 11 sites du réseau PILOTE, une caractérisation initiale des parcelles a été réalisée, avec notamment des sondages de sol à la tarière et des inventaires floristiques. De plus, grâce aux fiches de présentation des sites et aux différents CRI, les principales informations décrivant ces sites ont pu être récoltées et centralisées dans les tableaux ci-dessous :



*Tableau 1 : Présentation générale des différents dispositifs du réseau PILOTE*

Critère\Site	Bord-Louviers (27)	Compiègne (60)	Compiègne (60)	Fontainebleau (77)	Chaux (39)	Chinon (37)
Type de Forêt	Domaniale	Domaniale	Domaniale	Domaniale	Domaniale	Domaniale
Numéro(s) de parcelle	106	5251	9072	565	212 / 1026	31 et 35
Surface expérimentale	7,22 ha	3,76 ha	3,93 ha	3,97 ha	12,26 ha (environ)	8,14 ha
Altitude	80 m	125 m	45 m	125 m	250 m	118 m
Pente	7%	0%	0%	0%	0%	2% maximum
Température moyenne	11°C	11,2°C	11,2°C	11°C	10,7°C	11,2°C
Précipitations	730 mm/an	710 mm/an	710 mm/an	740 mm/an	1134 mm/an	716 mm/an
Texture	Limono-sableux	Sablo-limoneux	Sablo-limoneux	Sablo-limoneux	Limons fins et grossiers	Limono-sableux (p31), sablo-limoneux (p35), argile à 25-30 cm
Hydromorphie	Non	Non	Dès 30-100 cm	Non	Dès 20-45 cm	Dès 20-35 cm
Blocage par les EG	Dès 30cm	Non	Non	Non	Oui (zones p1026)	Non
Blocage par compacité	Non	Non	Non	Non	Dès 45 à 70 cm	Dès 60cm
Souches, bois, troncs	240/ha	61/ha	307/ha	329/ha	118 souches/ha	84 souches/ha
Végétation concurrente	Fougère Aigle	Graminées (Calamagrostis)	Graminées	Fougères et Graminées	Molinie bleue	Molinie, callune, fougère aigle
Antécédent	Futaie de Pin sylvestre accompagnée de bouleau	Futaie de Hêtre	Futaie de feuillus divers (hêtre, frêne, charme...)	Futaie de hêtre (55%), chêne (30%) et feuillus divers	Futaie de chêne	Futaie de Chêne (qualité faible à moyenne)
Cause de mise à blanc du peuplement et date	Fin 1999 : renversée en partie par l'ouragan Lothar 2012 : coupe définitive	Fin 1999 : renversée en partie par l'ouragan Lothar ; 2008 coupe définitive ; hiver 2010/2011 échec plantation	2013 : coupe rase	Fin 1999 : renversée en partie par l'ouragan Lothar 2011 : coupe définitive	Hiver 2008/2009 : coupe définitive	1995 et 2008 : coupes successives
Modalités	TEM, TL, CBD, SR150, SR200, C3B, ASU-C3B	TEM, TL, CBD, SSMF, RAZ+SSS	TEM, TL, CBD, SSMF, RAZ+SSS	TEM, TL, CBD, RAZ+SSS, SR150	TEM, RAZ, RAZ+SSMF, RAZ+C3B, MC+C3B	Parcelle 31 : HERB, RAZ+C3B Parcelles 31 et 35 : TEM, RAZ, RAZ+SSMF plat/3B
Travail préalable à la PMS	Broyage en plein (sauf modalité SR)	Broyage en plein (sauf modalités SSMF et RAZ+SSS)	Broyage en plein (sauf modalités SSMF et RAZ+SSS)	Broyage en plein (dans TEM, TL, CBD) ; broyage partiel, plages de régénération (dans RAZ+SSS et SR150)	Broyage en plein	Gyrobroyage dans TEM, HERB, RAZ+C3B
Mois/An PMS	Octobre à décembre 2013	Octobre à décembre 2013	Octobre à décembre 2013	Octobre à décembre 2013	Octobre 2013	Juillet à septembre 2014
Mois/An plantation	déc-13	déc-13	déc-13	déc-13	mars-14	mars-15
Essence	Chêne sessile	Chêne sessile	Chêne sessile	Chêne sessile	Chêne sessile	Pin Maritime
Mode de plantation	En fente à la pioche	En fente à la pioche	En fente à la pioche	En fente à la pioche	En fente au fer	En fente à la pioche
Type de plants	1S1 racines nues	1S1 racines nues	1S1 racines nues	1S1 racines nues	Racines nues, provenance QPE 203	VF2 en godets de 200 cm3 1+0
Taille des plants	30-60 cm	30 - 60 cm (mesure initiale 53 cm en moyenne)	30 - 60 cm (mesure initiale 53 cm en moyenne)	30-60 cm (mesure initiale 40 cm en moyenne)	30-80 cm/ 50-80cm	Mesure initiale 17 cm en moyenne
Densité	1 500 plants/ha	1 700 plants/ha	1 700 plants/ha	1 700 plants/ha	1 500 plants/ha	1 250 plants/ha
Espacement entre lignes	3m et 6m	3m et 6m	3m et 6m	3m et 6m	4 m	4m
Espacement sur la ligne	1m50	1m30	1m30	1m30	1m50	2m

Tableau 2 : Présentation générale des différents dispositifs du réseau PILOTE (suite)

Critère/Site	Frétilney (70)	Rennes (35)	La Celle d'Auvergne (63)	Toul (54)	Hémilly (57)	Villiers-Nonains (89)
Type de Forêt	Privée	Domaniale	Privée	Privée	Domaniale	Privée
Numéro(s) de parcelle	5	114	2b	1	25b	40
Surface expérimentale	8,15 ha	5,84 ha	4,51 ha	3,15 ha	5,25 ha	5,61 ha
Altitude	250 m	75 m	800 m	240m	270 m	300 m
Pente	15% au maximum	2%	15% au maximum	10 % au maximum	<10 %	8 % (variable)
Température moyenne	11°C	12,1°C	9,4°C	10,4°C	10,7°C	11,5°C
Précipitations	700 mm/an	836 mm/an	1 020 mm/an	775 mm/an	760 mm/an	708 mm/an
Texture	Limoneux avec renforcement progressif en argile	Limono-argileux	Limoneux à limono-sableux	Limono-sableux à argileux selon les zones	Argilo-limoneux à argileux	Sablo-argileux à argileux
Hydromorphie	Dès 30-40 cm	Dès 5-40 cm	Non	Dès 45 cm	Dès 15-30 cm	Non
Blocage par les EG	Non	Dès 40cm, très variable	Dès 60-80 cm	Dès 25-45cm	Non	Dès 40-90 cm
Blocage par compacité	Dès 45-70 cm	Non	Dès 60-80 cm	Dès 30-65 cm	Dès 26-30 cm	Rare (30cm ou 90 cm)
Souches, bois, troncs	194 /ha	131 souches/ha	jusqu'à 1000 souches/ha	779/ha	104/ha	351 souches/ha
Végétation concurrente	Ronces et Graminées	Molinie	Ronce, genêt, fougère aigle	Graminées diverses	Molinie et Calamagrostis	Genêt à balai, ronces, fougères, graminées
Antécédent	Taillis sous futaie reboisé en 1965 par bandes alternes de 25m composées alternativement de feuillus issus du taillis (chênes, frênes, ...) et d'épicéas	Futaie de Pin Sylvestre	Futaie mélangée hêtre, pin sylvestre (120 ans), quelques chênes pédonculés, densité de 100 à 500 tiges/ha, avec des bouquets plus denses	Futaie régulière d'épicéa, quelques pins sylvestre, futaie feuillus stade petits bois à chêne pédonculé majoritairement avec frêne (5m <sup>2</sup> /ha)	Futaie d'épicéa	Futaie régulière de Douglas (43 ans)
Cause de mise à blanc du peuplement et date	2007-2008 exploitation épicéas 2e semestre 2013 exploitation 3 bandes feuillus sur 4	2015 : exploitation dans un objectif de conversion en Pin Maritime	2016 : coupe rase par le propriétaire	2015 : coupe à blanc par le propriétaire, broyage des souches	Fin 1999 peuplement dévasté par l'ouragan Lothar ; Après 1999 échecs de plantation (gibier, sol argileux, engorgement, concurrence herbacée)	1er semestre 2015 : exploitation (160 tiges/ha, 280 m <sup>3</sup> /ha)
Modalités	TEM, SSS, SSMF en potets, C3B, DM	TEM, RAZ/RP+C3B, RP+semi SSMF potets, RAZ+SSMF 3B	TEM, DB, DSOL, C3B, SSMF potets, SS2R	TEM, DM, DM+HERB, moduld, DB10, SSD, SSD+HERB	TEM ligne, TEM plateau, moduld plateau 3x3m, moduld plateau 5x5m, moduld ligne, DB10	TEM, SSS, SSD, DM, SSMF en potets
Travail préalable à la PMS	09-11/2013 : broyage lourd en plein	Non	Dessouchage et andainage	Non	Passage d'un ouvrier pour retirer les ligneux déjà en place	2017 broyage des souches, mise en andains rémanents
Mois/An PMS	Octobre 2013 et avril 2014 (DM)	Septembre 2015	Octobre et décembre 2016	Septembre 2017	Septembre à novembre 2018	Septembre 2017
Mois/An plantation	avr-14 (regarnis mai 2015)	mars-16	avr-17	mars-18	mars-19	mai-18
Essence	Douglas	Pin Maritime	Douglas	Pin Sylvestre	Chêne sessile	Douglas
Mode de plantation	En fente à la pioche	A la canne à planter	A la pioche à planter	En fente à la pioche	En fente à la pioche	En fente à la pioche
Type de plants	Racines nues	VF2, en godet de 220 cm <sup>3</sup> âge 1+0	Verger Washington 2, racines nues 2+1	En godets 220 cm <sup>3</sup> , prvenance PSY VG 003 Haguenu	En racines nues	Racines nues 1+1, orginie Washington2
Taille des plants	Mesure initiale 32 cm en moyenne	10 et + (mesure initiale 17 cm en moyenne )	Mesure initiale 38 cm en moyenne	8 et + (mesure initiale 15 cm)	Environ 50 cm	30-60 cm
Densité	1 100 plants/ha	1 250 plants/ha	1 240 plants/ha	1 960 plants/ha	Lignes : 1500 plants/ha ; 9 plants/plateau 3x3m ; 20 plants/plateau 5x5m ; objectif final 70 plants/ha	1 330 plants/ha
Espacement entre lignes	3,2m	4m	3,2m	3m	Lignes : 3 m ou 4 m ; Placeaux : 5 m (5x5) ou 7m (3x3)	3m
Espacement sur la ligne	2,5m	2m	2,3m	1,7 m	Lignes : 1m30 ; dans les placeaux : 1m, entre placeaux : 10,8m (5x5) ou 13,2m (3x3)	2,75m

## 1.2. Les outils du réseau

Les outils évalués dans les différents dispositifs sont au nombre de 15. Ils peuvent être divisés en deux catégories : les outils tractés par un tracteur agricole ou forestier et les outils portés par des pelles mécaniques de différentes tailles. De plus, selon l'outil utilisé, celui-ci peut être utilisé pour réaliser un travail de décapage de la végétation et/ou de travail du sol. Les 15 outils sont présentés en ANNEXE 1 : PRESENTATION DES OUTILS UTILISES DANS LE RESEAU PILOTE . Le tableau ci-dessous récapitule les outils utilisés sur chaque dispositif :

*Tableau 3 : Répartition des outils utilisés dans les différents dispositifs du réseau PILOTE<sup>1</sup>*

Site\ Outils	C3B	CBD	DB10	DB	DM	DSOL	MC	modulD	RAZ	RP	SR	SS2R	SSD	SSMF	SSS
Bord-Louviers	x	x									x				x
Celle d'Auvergne	x			x		x						x		x	
Chaux 1026	x								x					x	
Chaux 212	x						x		x					x	
Chinon	x								x					x	
Compiègne 5251		x							x					x	x
Compiègne 9072		x							x					x	x
Fontainebleau		x							x		x				x
Frétigny	x				x									x	x
Hémilly			x					x							
Rennes	x								x	x				x	
Toul			x		x			x					x		
Villiers-Nonains					x								x	x	x
Présence sur x sites	7	4	2	1	3	1	1	2	7	1	2	1	2	9	6

L'outil ModulD et l'outil Sous-soleur multifonctions sont deux outils très proches en termes de conception. Le modulD est une version améliorée du SSMF grâce à son peigne modulable. Ces deux outils se composent de la même manière, un peigne avec une dent de sous-solage. Une grande diversité de version de ces outils existe (diverses dimensions de la dent et du peigne, positionnement des ailettes). Pour l'analyse des résultats, nous traiterons les données du ModulD et du SSMF ensemble.

## 1.3. Protocole initial pour le suivi de la préparation mécanisée des sites

Deux types de données sont disponibles concernant la productivité des chantiers de PMS :

- Des données de suivi de chantier résultant de données de comptes-rendus et de carnets de bord (dont des données machines)
- Des données de suivi fin du travail par des mesures de chronométrage

### Suivi global du chantier de travail de sol :

Le suivi global du chantier, complété par l'expérimentateur, consistait à renseigner les travaux effectués sur les modalités au moyen d'une fiche navette (ANNEXE 2 : MODELE DE FICHE NAVETTE POUR LE SUIVI GLOBAL). Cette fiche navette se compose de 3 parties :

- 1 - Fiche localisation et descriptif du dispositif : qui nous renseigne sur le schéma de plantation
- 2 - Récapitulatif des modalités étudiées : qui nous renseigne sur la surface de la modalité

<sup>1</sup> Les abréviations sont précisées en début de rapport

- 3 - Suivi global (par modalité) : qui nous renseigne sur la durée totale de chaque étape réalisée sur cette modalité, dont les étapes de préparation du site, pour chaque outil.

Un carnet de bord, complété par l'opérateur, devait venir compléter le suivi fin des phases de travail par chronométrage. Le carnet de bord (ANNEXE 4 : MODELE DE CARNET DE BORD) devait notamment servir pour relever les temps de chargement, déchargement, et de préparation au travail et ainsi permettre de connaître le taux d'activité de la machine (≠ productivité horaire effective). Le carnet de bord se divise en 3 parties :

- « Homme » : heure d'arrivée sur le chantier, de départ, pause, temps de travail auxiliaire
- « Machines » : horamètre de l'engin matin et soir
- « Productions » : compteur kilométrique en début et fin de journée ou nombre de lignes travaillées, avec la longueur de chaque ligne précisée

Suivi fin des phases de travail de sol par chronométrage :

Le suivi fin de la phase de travail de sol est réalisé par chronométrage, par l'expérimentateur, à l'aide d'un chronomètre. Il était demandé de réaliser un suivi de chantier durant 2 heures, répété 2 fois pour chaque modalité. Dans le cas d'une modalité nécessitant l'intervention successive de deux outils, un suivi chronométré était réalisé distinctement sur les deux outils (ex : Razherb + Culti 3B).

Lors du suivi chronométré, il était demandé de découper les opérations réalisées en phases élémentaires. Une liste prédéfinie des phases élémentaires a été suggérée dans un premier temps, pouvant être agrémentée par de nouvelles phases si besoin :

- Phase DEPCHA : **d**éplacement sur le **ch**antier (mise en position)
- Phase RETOUR : manœuvre en bout de parcelle, **r**etournement
- Phase DEPPOT : **d**éplacement entre **pot**ets
- Phase DECAP : **d**écapage de la végétation
- Phase SOL : préparation du sol proprement dite
- Phase STOPSOL: arrêt de la préparation du site : évitement de souche, d'obstacles
- Phase NETTOI : arrêt de la préparation du site : **n**ettoyage de l'outil (végétation, terre)
- Phase ENT : maintenance/**e**ntretien (plein, graissage)
- Phase INC : **i**ncident/panne

Ce travail venait en complément des informations récoltées dans les carnets de bord. Il aurait dû porter uniquement sur du « temps de travail effectif », c'est-à-dire uniquement sur les phases de travail effectives (décapage, retournement, déplacement, arrêt du travail sur la ligne...), réalisées après une phase de rodage/prise en main par le conducteur. Ce point n'était cependant pas précisé dans le protocole, des choix différents ont donc pu être faits par les opérateurs dans les différents dispositifs. Une fiche modèle est disponible en ANNEXE 3 : FICHE TERRAIN DE SUIVI FIN DE LA PHASE DE TRAVAIL DE SOL.

Données complémentaires :

Une fiche « matériel » (ANNEXE 5 : FICHE MATERIEL) devait compléter les différentes informations récoltées.

## 2. Données disponibles et traitement

Un état des lieux sur toutes les données disponibles PILOTE en lien avec l'étape de préparation du site a été réalisé. Les données de chronométrages, les carnets de bord, ainsi que les fiches navettes retraçant le suivi global de chaque chantier ont été centralisés.

### 2.1. Suivi global : fiches navettes et carnets de bord

#### a. Fiches Navettes

Les comptes rendus d'installation disponibles pour les dispositifs de **Compiègne (5251 et 9072)**, **Fontainebleau** et **Bord-Louviers** reprennent ce principe de fiche Navette.

A partir des informations du schéma de plantation (espacement entre les lignes) et de la surface totale de la modalité, intégrées dans ces fiches navette, il a pu être défini la longueur travaillée :

$$\text{Linéaire travaillé par modalité} = \frac{10}{\text{espacement moyen entre lignes}} * \text{surface totale}$$

Linéaires travaillés par modalité en kilomètre (km) ; Surface totale (de la modalité) en hectare (ha) ; Espacement moyen entre ligne en mètre (m)

#### b. Carnets de bord

Il n'a pas été possible de récupérer les carnets de bords pour l'ensemble des dispositifs, outils et modalités. Le tableau ci-dessous récapitule les carnets de bords disponibles par dispositif et par outil/modalité, ainsi que leur exploitabilité :

**Tableau 4 : Récapitulatif des informations "Carnets de Bord" disponibles pour les dispositifs du réseau PILOTE. L'information n'est pas disponible pour tous les dispositifs ou outils non listés.**

Site	Conducteur	Outil	Modalité	Informations disponibles			Exploitabilité
				Homme	Machine	Productivité	
Hémilly	A	Moduld	Placeaux 5x5	7j	Non	Oui	Oui avec le CRI et le nombre de placeaux sur la modalité
	A	Moduld	Lignes	2j	Non	Oui	Oui avec le CRI et les longueurs
	B	Moduld	Placeaux 3x3	5j	Non	Non	Oui avec le CRI et le nombre de placeaux sur la modalité
	B	Moduld	Lignes	11j	Non	Non	Oui avec le CRI et les longueurs
	C	DB10	/	1j	Non	Oui	Oui
Frétiigny	D	SSMF	Potets	2j	Oui	Oui	Oui
	E	C3B	/	1j	Oui	Oui	Oui
Chaux 1026	C	RAZ	/	3j	Oui	Non	Oui avec les autres indications
		RAZ+C3B	RAZ+C3B	7j	Oui	Non	Oui mais pour la durée totale de la modalité
Chaux 212	C	RAZ	/	8j	Oui	Non	Oui avec les autres indications
				2j	Oui	Non	
	F	SSMF	RAZ+SSMF	4j	Oui	Non	Distance non distinguée entre les deux chauffeurs
Compiègne 5251	C	RAZ	/	p.i.	Oui	Non	Non
	G	SSMF	/	4j	Non	Oui	Oui
Compiègne 9072	G	SSMF	/	4j	Non	Oui	Oui
Bord-Louviers	G	SR	1.5 m	4j	Non	Oui	Oui
			2 m	5j	Non	Oui	Oui
Fontainebleau	H	RAZ	/	3j	Oui	Non	Oui
		SR	/	2j	Oui	Non	Non

\* information récupérée dans le CRI

Si la donnée « Productivité » n'est pas présente ou n'est pas assez précise pour être utilisée, une autre information dans le carnet de bord ou dans les CRI peut parfois permettre d'estimer la distance parcourue durant un certain temps de travail (notamment pour Hémilly avec la synthèse des longueurs par modalités). Dans certains cas le carnet de bord ne peut pas être utilisé.

Plusieurs indications sont présentes dans le carnet de bord. Ainsi, la productivité horaire peut être définie de deux manières : à partir des informations hommes (« temps de travail productif » à laquelle on retire les « temps de pause » (repas)) et de l'horamètre machine.

Lorsque plusieurs informations sont disponibles pour le suivi de chantier (fiches navettes, carnets de bord (homme, machine)), il est d'abord vérifié que les résultats de productivité pour les différentes méthodes correspondent. Dans le cas où elles ne sont pas semblables, l'information est retirée et un travail secondaire est réalisé pour comprendre l'écart.

Sinon, une moyenne est réalisée avec les différentes productivités obtenues, pour obtenir une donnée unique de suivi global.

## 2.2. Suivi fin des phases de travail de sol par chronométrage

Les données de chronométrages sont disponibles sur tous les dispositifs. La durée totale de chronométrage varie fortement selon les chantiers et modalités/outils (de 15 min à 9h30 de suivi). Cela peut s'expliquer par la taille restreinte de certaines modalités, par les aléas des suivis de chantier, ainsi que par une variabilité d'application du protocole, encore non stabilisée lors de la mise en place des premiers essais. Les durées de chronométrage par dispositif, outil et modalité sont disponibles ci-dessous :

*Tableau 5 : Durée totale de chronométrage réalisé par outil/modalité pour chaque dispositif du réseau PILOTE*

Foret	Outil	Modalite	Durée	Foret	Outil	Modalite	Durée
Bord-Louviers	CBD	/	3:39:05	Compiègne (9072)	CBD	/	2:36:09
	C3B	/	7:56:52		RAZ	RAZ+SSS	2:57:15
	SR	1,5m	5:56:53		SSS	RAZ+SSS	0:58:50
	SR	2m	4:45:15		SSMF	/	5:46:20
	SSS	TL	3:53:44		SSS	TL	0:22:00
Celle d'Auvergne	C3B	/	1:17:34	Fontainebleau	CBD	/	3:56:03
	DSOL	/	1:20:40		SR	1,5m	1:57:04
	DB	/	2:28:00		RAZ	RAZ+SSS	2:37:43
	SSMF	Potet travaillé	9:33:45		SSS	RAZ+SSS	1:28:23
	SS2R	/	0:27:28		SSS	TL	0:38:27
Chaux (1026)	C3B	RAZ+C3B	2:10:57	Frétilly	C3B	/	2:10:00
	RAZ	RAZ+C3B	1:47:35		DM	/	3:47:00
	SSMF	RAZ+SSMF 3B	3:21:26		SSMF	Potet travaillé	6:00:00
Chaux (212)	C3B	MC+C3B	1:06:20	Hémilly	DB10	/	1:07:15
	MC	MC+C3B	7:55:14		moduld	placeau 3x3	1:07:57
	C3B	RAZ+C3B	0:15:55		moduld	placeau 5x5	1:06:33
	RAZ	RAZ+C3B	7:24:14		moduld	ligne	1:10:01
Chinon	C3B	RAZ+C3B	1:30:20	Rennes	C3B	RP+C3B	2:05:11
	RAZ	RAZ+C3B	1:45:00		RP	RP+semi	4:44:00
	RAZ	RAZ+SSMF 3B	0:47:30		C3B	RAZ+C3B	0:58:35
	SSMF	RAZ+SSMF 3B	0:30:35		RAZ	RAZ+C3B	0:45:00
	SSMF	RAZ+SSMF plat	2:46:00	Toul	DB10	/	2:15:06
CBD	/	2:15:23	DM		/	1:45:33	
RAZ	RAZ+SSS	2:32:32	moduld		/	4:49:00	
SSS	RAZ+SSS	1:15:21	SSD		/	1:17:24	
Compiègne (5251)	SSMF	/	4:34:15	Villiers-Nonains	DM	/	2:18:16
	SSS	TL	0:14:52		SSD	/	2:38:39
					SSS	/	0:56:54
					SSMF	Potet travaillé	1:23:02

Ces données de chronométrage sont divisées par phase comme indiqué dans le protocole de suivi par chronométrage. Selon les dispositifs, les phases décrites et les noms attribués à ces phases diffèrent. De plus, sur certains dispositifs comme la Celle d'Auvergne, le nom des phases n'a pas été utilisé mais une description complète a été réalisée. Un travail de réattribution des phases pour le dispositif de la Celle d'Auvergne a été réalisé. Pour les dispositifs de Chaux, un travail plus léger a été réalisé comme décrit dans les tableaux ci-dessous :

- **Chaux (1026) et Chaux (212)**

Le travail de notation des phases diffère légèrement du protocole. Un travail de réattribution des phases initialement présentes dans le protocole a été réalisé.

*Tableau 6 : Phase décrite et phase attribuée pour l'étude à partir des données chronométrages de Chaux*

Type de travail	Phase attribuée
Décapage	DECAP
Tournière	RETOUR
Broyage	BRO
Broyage 1 <sup>er</sup> passage	BRO1
Broyage 2 <sup>ème</sup> passage	BRO2
1 <sup>er</sup> passage travail de sol	SOL1
2 <sup>ème</sup> passage travail de sol	SOL2
Passages + tournières	GLO
Technique 3B	SOL

- **Celle d'Auvergne**

Le travail de notation des phases a été réalisé de manière plus éloignée du protocole. On retrouve sur la même colonne l'information sur le travail réalisé de manière détaillée et la ligne parcourue. Un travail de réattribution des phases, par rapport aux phases initialement présentes dans le protocole a été réalisé pour ce dispositif.

*Tableau 7 : Phase décrite et réattribuée pour l'étude à partir des données chronométrages de la Celle d'Auvergne*

Type de travail	Phase attribuée
Ss-solage + ratissage*	TRA
Déchargement tracteur bord de route	DECHAR
Vérification outils, Redémarrage chauffe et graissage Acheminement carburant et plein...	ENT
Mise en place, replier, dépliée barre de repère, Alignement tracteur, explications chauffeur, Vérification écartement, Enlèvement jalon, tél	DIVERS
Trajet bord de route, place de dépôt à chantier, bout de ligne, Retour place de dépôt, Trajet chemin central	DEPCHA
Piquetage, jalonnement	REPERAGE
Tournière chemin	RETOUR
Relevage dent	STOPSOL
Trajet à, passage de chemin	DEPLACEMENT
Travail en lui-même	TRA, TRA1 et TRA2
Chargement mini-pelle sur remorque	CHARGT

\* La phase de ratissage correspond à la remise au propre du terrain suite au passage de l'engin avec la dent Bertrandie, qui crée des trous et laisse les traces de chenilles.

Pour les autres dispositifs, les phases sont renseignées comme indiqué dans le protocole, ou alors un prétraitement a déjà été réalisé (dispositifs de **Bord Louviers, Compiègne (5251) et Compiègne 9072, Fontainebleau**) pour homogénéiser les phases.

Sur certains dispositifs (Chinon, Fréteigny, Rennes, Toul et Villiers-Nonains), la présence d'un dictionnaire des phases, d'une définition des phases utilisées dans leur chronométrage ou la description de la phase dans une colonne observation a permis de simplifier le travail de traitement des données lorsque les phases rajoutées n'étaient pas présentes dans le protocole de départ.

Quelques traitements complémentaires ont été réalisés sur les phases des différents dispositifs :

- Chinon : pour l'outil RAZ, il n'y avait pas de distinction nominative entre les temps de retournement en bout de ligne et les temps pour déplacer les jalons, nommé DEP dans les deux cas. Il y a donc eu une distinction de ces deux phases en STOP, pour le déplacement des jalons et en RETOUR, pour les retournements en fin de ligne. De la même manière pour le SSMF en 3B, la phase DEP est réattribuée en TOUR.
- Fréteigny : dans la phase AUTRES, la présence de certains commentaires en plus a permis de la diviser en phase AUTRES et NETTOI
- Hémiilly : la phase nommé SILLON correspond au déplacement entre placeaux de l'engin. La phase nommé DEPCHA correspond à la fois au déplacement de l'engin sur la ligne et au retournement en bout de ligne, les deux phases sont donc redistinguées.



- Toul, modalité Dent Maillard : DEPCHA ne correspond pas forcément à la définition initiale du protocole mais une phase de déplacement de la pelle sur la ligne. Les DEPCHA de cette modalité Dent Maillard sont donc transformées en STOPSOL pour le traitement des données.
- Villiers Nonains : pour la modalité DM et SSMF potets, le déplacement correspond en fait à l'avancement de la pelle sur la ligne, et est donc renommé en STOPSOL. De la même manière, la phase positionnement (ou déplacement pour le potet) correspond au retournement en bout de ligne, renommé RETOUR. Pour le Grenier Franco, Finligne correspond en fait au positionnement en bout de ligne, donc renommé en RETOUR
- Pour certains outils tels que le Culti 3B, la Charrue Bidisques et le Meri Crusher, deux passages sont réalisés pour une ligne. Lors des chronométrages sur certains dispositifs, la distinction entre les deux passages a été directement réalisée dans le nom de la phase. Afin d'homogénéiser ce point, et lorsque l'information était présente (commentaire ou identification dans le numéro de ligne ex : « 5P1 » qui signifie : ligne 5 passage 1), la phase de préparation du site a été redivisée en deux phases : SOL1 et SOL2 par exemple. Les temps de passage sur la ligne étant différents entre le 1<sup>er</sup> et le 2<sup>nd</sup> passage.

Le tableau suivant récapitule les phases décrites dans les différents chronométrages, sur chaque dispositif et modalité. Pour les dispositifs de la Celle d'Auvergne et de Chaux, cela correspond aux phases attribuées après un premier traitement. Une croix représente la présence de cette phase pour ce dispositif, avec le même intitulé de la phase. Un intitulé dans la case indique que cela correspond à la même définition de la phase mais indiquée sous un autre intitulé dans les chronométrages :

Tableau 8 : Récapitulatif des phases utilisées dans les différents dispositifs et des concordances de ces phases entre dispositifs

Phase\Site		Chinon	Frétagney	Hémilly	Rennes	Toul	Villiers-Nonains	Bord-Louviers, Compiègne, Fontainebleau	Celle d'Auvergne	Chaux
Phases initialement dans le protocole	<b>DEPCHA</b> : déplacement sur le chantier (mise en position)		X			X	X	X	X	
	<b>RETOUR /TOUR</b> : manœuvre en bout de parcelle, retournement, déplacement sur la prochaine ligne	DEP	X	DEPCHA	X	X	POSITIONNEMENT, Finligne, RETOUR		X	X
	<b>DECAP</b> : décapement végétation			X		X	X	X		X
	<b>SOL</b> : préparation du site proprement dit	TRA, TRA1*, TRA2*	X	CREUSE, TRA, SOL	TRA, TRA1*, TRA2*	X	X	PROF, SOL	TRA, TRA1*, TRA2*	BRO, BRO1*, BRO2*, SOL, SOL1*, SOL2*
	<b>STOPSOL</b> : arrêt du travail : évitement souches, obstacles		EVIT, CONTOUR, OBS, STOP (obstacle)	SILLON/DEPCHA		DEPCHA	DEPLACEMENT	X	X	
	<b>NETTOI</b> : arrêt du travail : nettoyage de l'outil (végétation, terre)		AUTRES				X	X		
	<b>ENT</b> : maintenance/entretien (plein, graissage)					X		X	X	
	<b>INC</b> : incident/panne					X		X		
Phases rajoutées	<b>AUTRES</b> : vérif matériel, enlèvement rémanents à la main, échanges		X							
	<b>STOP</b> : Pause, échange, tél, vérif matériel..	DEP		PAUSE	PAU	PAUSE	DIV	PAUSE	DIVERS	
	<b>PREPA</b> : Mesures des distances, jalonnement		X			REPERAGE	DIV	PAUSE	REPERAGE	
	<b>FIN</b> : fin du chronométrage			X				X		
	<b>DECHARGT</b> : début de chantier, du matériel					ATELAGE (outil)		X	X	
	<b>CHARGT</b> : fin de chantier, du matériel							X	X	
	<b>MISE EN ROUTE</b> : préchauffage					X				
	<b>EXTRAC</b> : ?							X		
	<b>MAR</b> : ?							X		
	<b>ROULE</b> : jusqu'à une autre parcelle ou sans détail							X		
<b>GLO</b> : préparation du site + tournières									X	
<b>DEPLACEMENT</b> : Trajet à, passage de chemin								X		

**ROUGE** : Pour ces deux sites, ce sont les phases post-traitement qui sont indiquées   Phases de travail utilisées pour le calcul de la productivité horaire effective

\* : Phase de travail où l'on distingue : TRA1/BRO1/SOL1 le premier passage sur la ligne, TRA2/SOL2/BRO2 le second passage sur la ligne

Concernant les informations de distances travaillées au cours de ces chronométrages, celles-ci étaient incluses directement avec les chronométrages et/ou disponibles dans un autre fichier.

A partir de ces différentes informations, on peut estimer correctement la productivité horaire.

## 2.3. Calcul de la productivité horaire et de la répartition des temps

### a. Productivité horaire globale et répartition des temps

A partir des différentes informations disponibles, on a pu estimer la productivité horaire :

$$\text{Productivité horaire}_{CHR} = \frac{\text{mètres linéaire ou nombre de potets ou nombre de placeaux ou hectares}}{\text{duree totale}} * 3\,600$$

avec la durée totale en secondes et la productivité horaire en m/h ou potets/h ou placeaux/h ou ha/h

A partir des différentes informations récoltées, différents résultats ont pu être retirés :

1. Productivité horaire à l'échelle du chantier :
  - à partir des données de suivi global (cf 2)
  - à partir des données de suivi fin auxquelles on retire les temps de pause supérieurs à 15 min (temps de déjeuner)
2. Productivité horaire effective (à partir des données de suivi fin) : l'objectif est ici de savoir quelle est la productivité effective de la PMS, c'est-à-dire sans prendre en compte les pauses, incidents, chargements... etc. Les phases uniquement surlignées en vert dans le Tableau 8 sont concernées pour le calcul de la durée totale. La distance totale de travail ne diffère pas.
3. Répartition du temps de travail par phases (à partir des données de suivi fin) : cette information permet de comprendre la part des différentes phases dans le travail réalisé.

$$\text{Part d'une phase (\%)} = \frac{\text{durée de la phase (s)}}{\text{durée totale (s)}} * 100$$

Pour le suivi général des phases, il est important de noter que pour les outils C3B, CBD et SSD, il y a deux passages sur la ligne.

Ces différentes informations sont représentées graphiquement dans la partie résultats, par outil puis par forêt.

### b. Durée de travail estimée, en heures, pour réaliser un hectare

Définir une productivité horaire en mètres par heure reste difficile à interpréter par tous les lecteurs. Afin de faciliter la compréhension des résultats et lorsque cela est possible, des résultats en heures par hectare sont aussi présentés. Seuls les résultats issus des données de suivi fin peuvent être exprimés

dans cette unité, et uniquement pour le travail qui a été réalisé par potet ou en linéaire (donc hors travail par placeaux).

En fonction des territoires, de la parcelle et du type de plantation que l'on souhaite réaliser, le schéma de plantation utilisé, le mètre linéaire travaillé par hectare et donc le temps associé au déplacement sur la parcelle peut varier fortement. Afin de standardiser les résultats pour les différents outils et sites PILOTE, nous avons défini une parcelle hypothétique avec un schéma type de plantation sur lesquels nous baser pour définir une productivité en heures par hectare.

La parcelle type sélectionnée est une parcelle de 3 ha, de 300 m de largeur, avec des lignes de 100 m de long. Les lignes de plantations et les plants sur la ligne sont séparés de 2.5 m, avec un entraxe des cloisonnements d'exploitation de 20 m. Le schéma de plantation choisi peut correspondre à un itinéraire chêne, ou encore un itinéraire douglas avec andains. Il est bien à noter que nous avons dû faire un choix et que ce schéma ne peut pas correspondre à tous les types d'itinéraires existants mais permet de donner une meilleure idée de la productivité.

Sur cette parcelle théorique de 3 ha, il y a donc 90 lignes de 100 m, avec 89 retournements en bout de ligne par les machines en simple passage et 9 000 mètres linéaires à travailler (ou 3 600 potets).

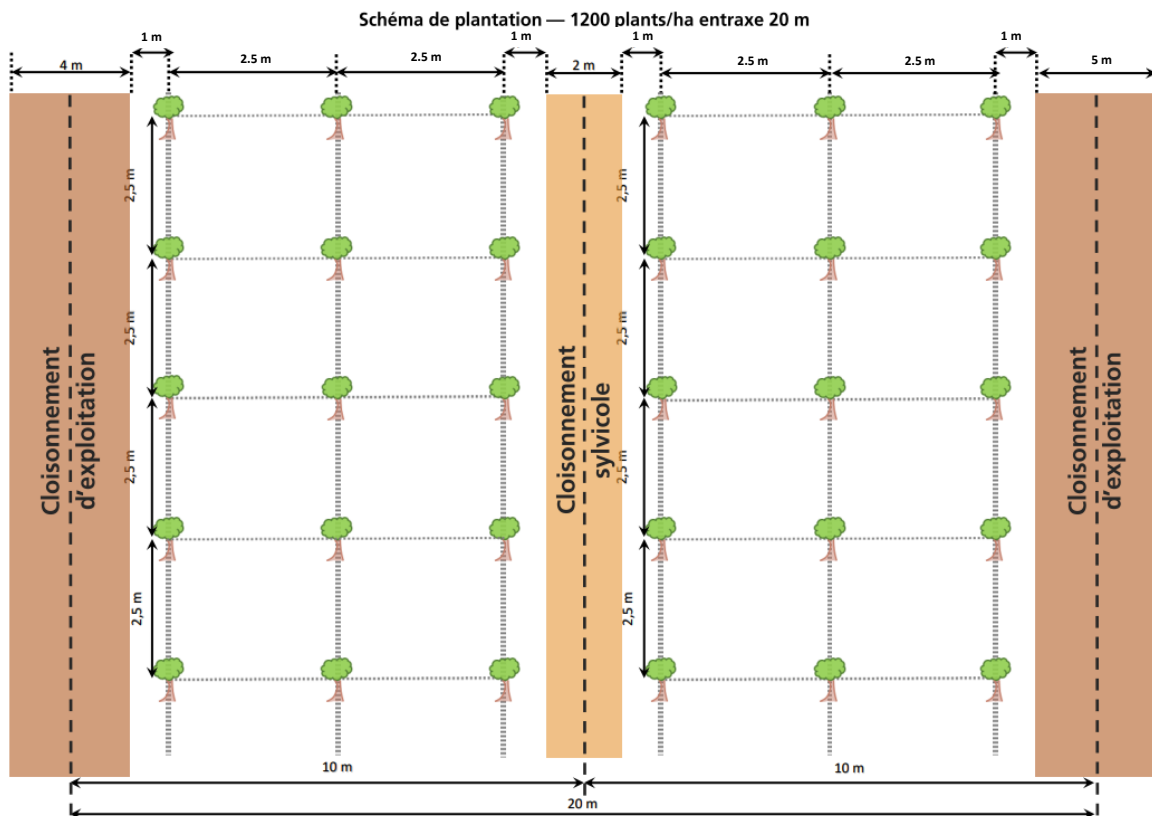


Figure 2 : Schéma théorique de plantation utilisé pour exprimer les résultats en heures par hectare, Inspiré du schéma ONF – Lilian Duband, Mathieu Dulieu de Janvier 2021

Pour chaque chronométrage, il est défini :

- $Dr_t$  (en secondes) : la durée du retournement en bout de ligne total
- $Nl$  : le nombre de ligne travaillées sur la durée du chronométrage
- $Np$  : le nombre de potets travaillés sur la durée du chronométrage
- $d_t$  : la distance travaillée totale lors du chronométrage
- $NR_c$  :  $(=Nl-1)$  le nombre de retournement en fin de ligne réalisé lors du chronométrage

- $Dt_c$  (en secondes) : la durée de travail effective totale chronométré sans le temps des retournements en bout de ligne

La durée moyenne d'un retour ( $Dr_m$ ) en fin de ligne lors du suivi chronométré correspond à la durée totale des retournements chronométrés divisée par le nombre de retournement réalisés lors du chronométrage :

$$Dr_m = Dr_t / NR_c$$

*Lorsque le suivi chronométré n'a pas été supérieur au suivi de deux lignes, le temps de retournement théorique attribué correspond au temps de retournement moyen estimé pour les mêmes outils.*

Estimation des durées sur le schéma théorique :

La durée totale des retournements sur le schéma théorique est :  $Dr_T = Dr_m * 89$

La durée totale de travail (en secondes) sur le schéma théorique, temps de travail sur la ligne avec les temps de retour, est :

- $Dt_{th} = Dr_T + \left(\frac{Dt_c}{dt} * 9000\right)$  pour un travail linéaire avec simple passage
- $Dt_{th} = 2 * Dr_T + \left(\frac{Dt_c}{dt} * 9000\right)$  pour un travail linéaire avec double passage
- $Dt_{th} = Dr_T + \left(\frac{Dt_c}{Np} * 3600\right)$  pour un travail en potets

Estimation de la productivité en heures par hectare pour le schéma théorique :

La productivité estimée pour cette forme de parcelle et ce schéma de plantation théorique est donc :

$$Productivité\ horaire\ (h/ha) = \frac{Dt_{th}}{3600 * 3}$$

## 2.4. Données complémentaires : fiche engins et outils

Une description du matériel utilisé sur les différents dispositifs lors de la préparation du site était prévue dans le protocole. Cette fiche reprend notamment une description des porte-outils. Un état des lieux de ces fiches matériel a été réalisé. Dans la majorité des cas, on dispose uniquement des informations du modèle et de la marque du porte-outils. Cependant, ces informations suffisent pour ensuite retrouver plus de détail à partir d'informations techniques fournies par les constructeurs.

### a. Description des outils

Concernant les outils, quelques informations ont été récupérées lors du travail de sol. C'est le cas pour les dispositifs de Villiers-Nonains, la Celle d'Auvergne, Chaux et Frétigney. Les informations différentes des données constructeurs ou les complétant sont intégrées en ANNEXE 1 : PRESENTATION DES OUTILS UTILISES DANS LE RESEAU PILOTE avec la présentation des outils.

## b. Description des porte-outils

Le modèle de porte-outils utilisé avec chaque outil a été relevé pour les différents sites. Dans certains cas, seule l'information du modèle a pu être retrouvée.

Pour les dispositifs de **Compiègne (9072 et 5251)**, **Fontainebleau** et **Bord-Louviers**, nous disposons du modèle et de la marque du matériel utilisé, pour chaque outil (source : fiches navette). C'est le même matériel qui a été utilisé sur ces trois dispositifs :

- Tracteur : VALTRA T161 (sauf Bord-Louviers), VALTRA T191, John Deere 7260R
- Mini-pelle : Takeuchi TB228

Pour le site de **Chinon**, nous disposons du modèle et de la marque du matériel utilisé pour la mini-pelle, mais pas pour le tracteur (source : CRI) :

- Tracteur : forestier 200 cv
- Mini-pelle : Takeuchi TB228

Pour le site de **Chaux**, nous disposons du modèle, de la marque et des quelques informations sur le matériel utilisé (puissance, longueur, largeur, hauteur, poids...), pour chaque outil (source : CRI) :

- Tracteur : VALTRA T191, VALTRA T170
- Mini-pelle : Takeuchi TB228 modèle « Compact excavator »

Pour le site de **Frétigney**, nous disposons du modèle et de la marque du matériel utilisé pour les pelles, mais pas pour les tracteurs où nous avons seulement la marque (source : CRI + carnet de bord) :

- Tracteur : VALTRA (8T, 200cv) => roues arrière jumelées
- Pelle : Komatsu PC 210 LC-8
- Mini-pelle : Bobcat E50

Pour le site de **Hémilly**, nous disposons des fiches engin, pour chaque outil (source : CRI + fiches engins) :

- Pelle : Doosan DX140LCR-5, Volvo ECR 88+ (ModulD)

Pour le site de **Toul**, nous disposons des fiches engin, pour chaque outil (source : CRI + fiches engins) :

- Tracteur : VALTRA T130
- Pelle : Komatsu PC228us LC, Volvo ECR 88+

Pour le site de **La Celle d'Auvergne**, nous disposons d'informations détaillées sur les engins (source : fichier données chronos) :

- Tracteur : John Deere 6930 premium, CASE IH 7220
- Pelle : Caterpillar CAT325 EL
- Mini-pelle : Kubota KX71-3

Pour le site de **Rennes**, nous disposons du modèle, de la marque et de la puissance ou poids (source : CRI) :

- Tracteur : VALTRA T150
- Pelle : New Hollande E215B
- Mini-pelle : VOLVO ECR58

Pour le site de **Villiers-Nonains**, nous disposons de la marque, du modèle et de quelques autres informations (source : CR préparation du site et fichier de données chrono) :

## PILOTE : Analyse de la productivité de la PMS

- Tracteur : VALTRA T 153
- Pelle : Komatsu PC 210 us LC
- Mini-pelle : Bobcat E50

Le nombre et la nature des informations disponibles sur les porte-outils utilisés pour la préparation du site est assez disparate selon les dispositifs. Cependant, à partir du modèle et de la marque, on peut définir grâce aux fiches techniques constructeurs les informations principales sur ces machines. Il reste cependant à noter que le tonnage des tracteurs indiqué dans ces fiches techniques peut différer du tonnage réel. En effet, les tracteurs présentés par les constructeurs ont pour objectif un usage agricole, et non pas un usage forestier. Ces tracteurs agricoles sont donc parfois blindés pour résister au travail dans les parcelles forestières (mise en place de tôles épaisses, treuils, poids pour contrebalancer les outils, pneus forestiers...) ce qui amène à des poids plus proches des 12 à 14 tonnes, sans outils.

Tableau 9 : Récapitulatif des informations tracteurs, pelles et mini-pelles utilisées sur les différents dispositifs du réseau PILOTE

Tracteur									
Marque	VALTRA	John Deere	VALTRA	VALTRA	VALTRA	John Deere	CASE IH	VALTRA	VALTRA
Modèle	T 191	7260 R	T 161	T 170	T 150	6930 premium	7220	T 153	T 130
Puissance (kW)	136	/	125	129	114	114	/	114	99
Puissance (cv)	185	260	160 (170)	175	170 (155)	160	220	155	135
Poids (T)	6	10,5	5,65	6	5,65	10	10	5,9	5,53
Longueur (m)	5,2	5,278	/	5,1	2,74	4,8	/	5,15	5,15
Largeur (m)	2,33	2,54	2,33	2,33	2,33	2,4	2,7	2,55	2,5
Hauteur (m)	3,03	3,313	3,03 (max)	3,03	2,96	2,9	/	3,04 (max)	2,96
Empattement (m)	2,74	2,925	2,74	2,74	2,74	2,65	/	2,75	2,74
Garde au sol (m)	0,595	0,668	0,6	0,6	0,535	0,6	/	0,55	0,535
Outils associés	C3B, SSS	CBD	Broyage	MC, broyage	C3B	DSOL	C3B, SS2R	SSS, SSD	SSD
Tracteur blindé	nsp (non pour Chaux)	nsp	nsp	Non	nsp	Oui	Non	Non	Non
Sites	Bord-Louviers, Compiègne, Chaux, Fontainebleau	Bord-Louviers, Compiègne, Fontainebleau	Compiègne, Fontainebleau	Chaux	Rennes	Celle d'Auvergne	Celle d'Auvergne	Villiers-Nonains	Toul

Pelle							Mini-pelle				
Marque	Komatsu	New Hollande	Caterpillar	Komatsu	VOLVO	DOOSAN	Takeuchi	Bobcat	VOLVO	Kubota	
Modèle	PC 210 LC-8	E215B	CAT 325 EL	PC 228 us LC	ECR 88+	DX140LCR-5	TB 228	E50	ECR58	KX71-3	
Puissance (kW)	116	118	121	116	40,3	85,9	18,1	36	37,5	20,5	
Puissance (cv)	158	160	180 (165)	158	55	115	24,6		50		
Poids (T)	22	21,9	25	23	8,45	15,4	2,8	5	5,7	2,7	
Largeur (m)	2,5	3,168	3 (2,54)	3,08	2,3	2,59	1,45	1,96	2	1,5	
Hauteur (m)	3,035	3,03	2,96	3,01	2,68	2,765	2,4	2,54	2,58	2,41	
Largeur chenille (m)	0,5 à 0,8	0,5 à 0,9	0,6	0,7	0,45	0,6	0,3	0,4	0,4 à 0,5	0,3	
Type de chenille	/	/	/	metalique/acier	caoutchouc	acier	caoutchouc	polymères	/	caoutchouc	
Portée maximal au sol (m)	8,8 à 9,8	8,9 à 10	9 à 10	9,7	6,5	7,66	4,7	5,9	6	4,89	
Longueur des chaines (m)	4,45	4,45	4,5		2,85	3,035	1,885		2,5	1,99	
Longueur au centre des galets (m)	3,655	3,66	3,7	3,65	2,2	3,755	1,44	1,998	1,95	2 (1,560)	
Voie des chaines (m)	2,38	2 à 2,4	2,38	3,08	3,27	1,8	2,59	1,15	1,6	1,36	
Garde au sol (m)	0,44	/	0,45	0,44	0,39	0,41	0,3	0,385	0,37	0,37	
Outils associés	DM	RP	DB	DM	DM	DB10, Modul D	DB10	SR, RAZ, SSMF	SSMF	RAZ, SSMF	SSMF
Sites	Frétigny	Rennes	Celle d'Auvergne	Villiers-Nonains	Toul	Hémilly, Toul	Hémilly	Compiègne, Chaux, Fontainebleau, Chinon et Bord-Louviers	Frétigny, Villiers-Nonains	Rennes	Celle d'Auvergne

Noir : informations récoltées sur le terrain, Rouge : informations récoltées en ligne sur les fiches techniques des constructeurs des engins disponibles, nsp=information inconnue



### 3. Suivi du travail de sol : Résultats

#### 3.1. Pré-traitement : suivi global à partir des données de suivi chantier

Le tableau suivant représente la productivité horaire pour les modalités où plusieurs types d'informations sont disponibles (carnet de bord, fiches navette). De manière générale, les fiches navettes semblent surestimer la productivité des engins et des outils par rapport aux autres méthodes de suivi. Il est difficile d'expliquer ce résultat, si ce n'est en évoquant des phases différentes prises en compte dans les différentes méthodes de suivi. Les données de la fiche navette de Bord-Louviers, pour les outils C3B et CBD, ont un temps de travail annoncé très inférieur au temps de travail suivi par chronométrage, ce qui n'est pas compréhensible et amène à penser que les deux méthodes de suivi n'ont pas pris en compte les mêmes phases de travail. Ces données sont retirées au vu des incohérences présentées.

foret	source	outil	modalite	productivite (m/h)
bord_louviers_106	carnet_de_bord homme	SR	1.5m	77
bord_louviers_106	fiche_navette	SR	1.5m	107
bord_louviers_106	carnet_de_bord homme	SR	2m	65
bord_louviers_106	fiche_navette	SR	2m	84
chaux_1026	carnet_de_bord homme	RAZ	RAZ	239
chaux_1026	carnet_de_bord horametre	RAZ	RAZ	245
chaux_1026	carnet_de_bord homme	RAZ+C3B	RAZ+C3B	192
chaux_1026	carnet_de_bord horametre	RAZ+C3B	RAZ+C3B	190
chaux_212	carnet_de_bord homme	RAZ	RAZ	161
chaux_212	carnet_de_bord horametre	RAZ	RAZ	170
chaux_212	carnet_de_bord homme	SSMF	RAZ+SSMF	89
chaux_212	carnet_de_bord horametre	SSMF	RAZ+SSMF	93
compiegne_5251	carnet_de_bord homme	SSMF	SSMF	80
compiegne_5251	fiche_navette	SSMF	SSMF	94
compiegne_9072	carnet_de_bord homme	SSMF	SSMF	83
compiegne_9072	fiche_navette	SSMF	SSMF	101
fontainebleau_565	carnet_de_bord horametre	SR	1.5m	108
fontainebleau_565	fiche_navette	SR	1.5m	100
fontainebleau_565	carnet_de_bord homme	RAZ	RAZ+SSS	126
fontainebleau_565	carnet_de_bord horametre	RAZ	RAZ+SSS	134
fontainebleau_565	fiche_navette	RAZ	RAZ+SSS	174
fretigney	carnet_de_bord homme	C3B	C3B	2143
fretigney	carnet_de_bord horametre	C3B	C3B	1990
hemilly	carnet_de_bord homme	ModulD	ModulD	26
hemilly	carnet_de_bord homme	ModulD	ModulD	50

*Figure 3 : Récapitulatif des dispositifs, outils, modalités pour lesquelles on dispose de productivité horaire à partir de plusieurs types d'informations, pour un travail en ligne*

foret	source	outil	modalite	productivite (potets/h)
fretigney	carnet de bord	SSMF	potets	72
fretigney	carnet de bord	SSMF	potets	80

*Figure 4 : Récapitulatif des dispositifs, outils, modalités pour lesquelles on dispose de productivité horaire à partir de plusieurs types d'informations, pour un travail en potet*

Lorsque seules les informations carnets de bord sont disponibles, une moyenne des deux informations (homme et machine, ANNEXE 4 : MODELE DE CARNET DE BORD) peut être réalisée car les productivités sont très proches. En revanche, lorsque la fiche navette est aussi présente, son résultat de productivité horaire peut différer plus fortement et semble surestimer la productivité (ex : Fontainebleau avec le RAZ). On considère ici qu'on privilégie les données issues des carnets de bord aux données fiches navette.

La productivité horaire est représentée ci-dessous, après calcul de la moyenne lorsque plusieurs informations étaient présentes, pour le suivi global :

foret	outil	modalite	productivite (m/h)
bord_louviers_106	SSS	TL	440
compiegne_5251	CBD	CBD	2082
compiegne_5251	RAZ	RAZ+SSS	144
compiegne_5251	SSS	RAZ+SSS	2080
compiegne_5251	SSS	TL	471
compiegne_9072	CBD	CBD	2141
compiegne_9072	RAZ	RAZ+SSS	160
compiegne_9072	SSS	RAZ+SSS	1920
compiegne_9072	SSS	TL	330
fontainebleau_565	CBD	CBD	2063
fontainebleau_565	SSS	RAZ+SSS	1870
fontainebleau_565	SSS	TL	458
hemilly	DB10	DB10	262
bord_louviers_106	SR	1.5m	92
bord_louviers_106	SR	2m	74
chaux_1026	RAZ	RAZ	242
chaux_1026	RAZ+C3B	RAZ+C3B	191
chaux_212	RAZ	RAZ	166
chaux_212	SSMF	RAZ+SSMF	91
compiegne_5251	SSMF	SSMF	87
compiegne_9072	SSMF	SSMF	92
fontainebleau_565	SR	1.5m	104
fontainebleau_565	RAZ	RAZ+SSS	145
fretigney	C3B	C3B	2066
hemilly	ModulD	ModulD	38

*Figure 5 : Productivité horaire disponible, après traitement, pour le suivi global des modalités en travail en ligne*

foret	modalite	outil	productivite (potets/h ou placeaux/h)
fretigney	potets	SSMF	76.0
hemilly	Placeau 3x3m	moduld	2.4
hemilly	Placeau 5x5m	moduld	1.3

*Figure 6 : Productivité horaire disponible, après traitement, pour le suivi global des modalités en travail par potet ou par placeau*

### 3.2. Résultats par outil

Dans cette partie, les productivités horaires sont comparées pour un même outil, à travers les différents dispositifs :

- La productivité globale qui correspond à la productivité générale sur le chantier pour cet outil, incluant notamment les temps de pause et de panne. Elle est calculée à partir des données de suivi global de chantier (carnet de bord, fiche navette) et des données de suivi fin. Ce paramètre est représenté par des hachures dans la légende (suivi fin : non hachuré, suivi global : hachuré). Lorsque plusieurs modalités sont présentes, elles sont différenciées par la couleur de remplissage des barres.
- La productivité effective qui reprend uniquement les données de suivi fin, et les phases pour lesquelles le travail est effectif (travail du sol, décapage, déplacement lors du travail du sol, etc...). Cela correspond au calcul de la productivité à partir des phases surlignées en vert dans le Tableau 4 et le Tableau 8. Lorsque plusieurs modalités sont présentes, elles sont différenciées par la couleur de remplissage des barres.
- La répartition des phases au sein de la productivité effective. Chaque phase est représentée par une couleur de remplissage de la barre.
- Enfin, à partir du schéma de plantation et la parcelle type théorique défini en 2.3.b, la productivité théorique est estimée pour chaque outil en heures par hectare. Ci-dessous un tableau d'aide à la conversion des heures par hectare en hectares par heure.

*Tableau 10 : Tableau de conversion des h/ha en ha/h*

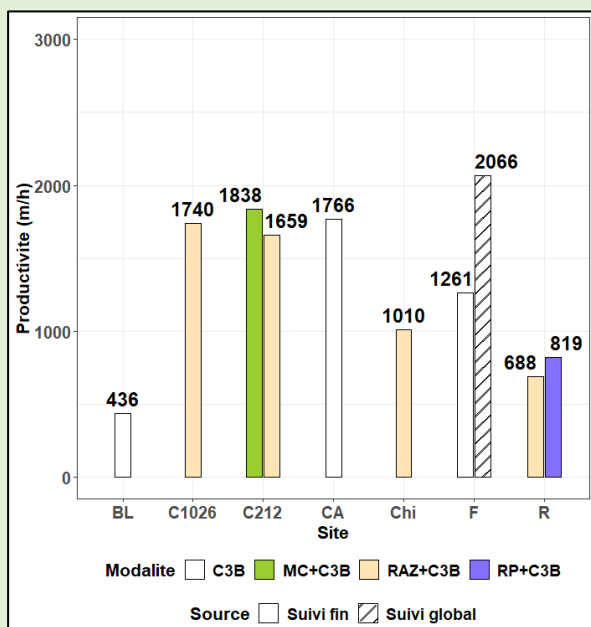
h/ha	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ha/h	1	0.5	0.33	0.25	0.20	0.17	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08

**a. Culti-3B : travail du sol avec double passage**

Le **culti-3B** est un outil tracté qui réalise un décompactage des sols sur 60 cm de profondeur en moyenne, et jusqu'à 85 cm, maximum, ainsi qu'un billonnage. Le travail est ici réalisé en ligne, en **double passage** par ligne.

**Productivité globale**

La productivité globale, **Figure 7**, fluctue entre 436 m/h (**Bord-Louviers**) et 1 838 m/h (**Chaux 212**) pour le suivi fin, et jusqu'à 2 066 m/h (**Frétigney**) pour le suivi global.



**Figure 7 : C3B - Productivité globale à partir des différentes informations disponibles**

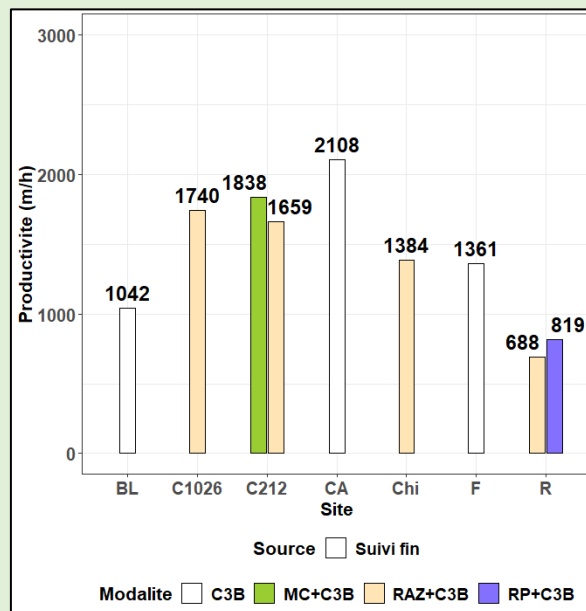
Une seule donnée de suivi global est disponible. Elle est issue d'une donnée de carnet de bord, sur le dispositif de **Frétigney**. Un écart important est présent entre le résultat de suivi fin et le résultat global pour ce dispositif. Si on regarde plus précisément la donnée carnet de bord, le kilométrage monte à 14 km pour 3h de travail. On peut supposer que dans le kilométrage machine se trouve des déplacements importants (par exemple le déplacement jusqu'à la parcelle, les déplacements entre modalités) ne concernant pas directement le travail sur le chantier, venant surestimer la productivité globale de l'engin.

**Productivité effective**

La productivité effective, **Figure 8**, fluctue entre 688 m/h (**Rennes**) et 2 108 m/h (**La Celle d'Auvergne**).



© L. Wehrlen, INRAE



**Figure 8 : C3B - Productivité effective à partir des données de suivi fin**

Sur le dispositif de **Rennes**, les conditions très humides lors du travail du sol, ayant même entraîné un embourbement de la machine, peut directement expliquer le travail moins productif de l'outil.

Pour les sites où le travail était le plus productif, **Chaux (1026 et 212)** et **La Celle d'Auvergne**, ce sont tout d'abord trois sites avec peu de contraintes au niveau du sol en termes de blocage par compacité ou par les éléments grossiers, et en termes d'engorgement pour le site de **la Celle d'Auvergne**.

Pour le site de la **Celle d'Auvergne**, les conditions pour réaliser le travail étaient très bonnes (dessouchage en plein, très peu de végétation) et le billonnage n'était pas nécessaire au vu de la bonne qualité du sol, celui-ci a tout de même été réalisé pour permettre une comparaison entre dispositifs.

Il est intéressant de noter que c'est le même chauffeur qui a réalisé le travail sur les dispositifs de **Chaux** (parcelle **212** et **1026**) et que la productivité diffère peu dans ce cas. Tous les chauffeurs diffèrent pour les autres sites.

Concernant la double association d'outil (passage précédée par le Razherb, le Râteau Pompéi ou le Meri-Crucher), il est difficile de tirer des conclusions concernant les méthodes de préparation préalables.

### Répartition des temps

Lorsqu'on regarde plus en détail la répartition de temps de travail effectif par phase, **Figure 9**, on constate la phase d'arrêt du travail de sol sur la ligne (stopsol) est présente uniquement pour les dispositifs de Frétigny et de Bord-Louviers. Pour les autres sites, ces temps d'arrêt n'ont pas été distingués.

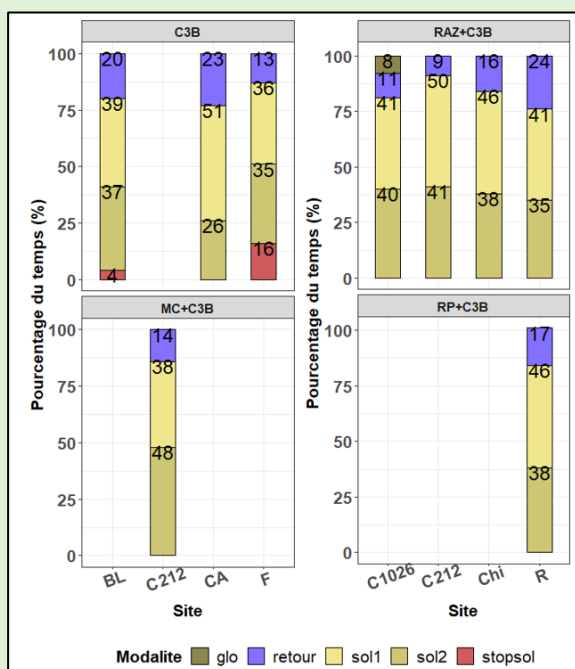


Figure 9 : C3B - Répartition du temps de travail effectif par phase à partir des données de suivi fin

Les temps d'arrêt sont les plus importants sur le dispositif de Frétigny, qui correspond à des contournements et évitement de souche. Pour la Celle d'Auvergne, un dessouchage préalable avait été réalisé.

Le premier passage (sol1) varie entre 38% et 51% du temps de travail effectif, et le deuxième passage (sol2) entre 26% et 48% du temps. Cette différence s'explique par un sol plus ameubli après le premier passage de l'outil, ce qui facilite le travail lors du second passage de l'outil.



© L. Wehrlen, INRAE

Le second passage est donc plus rapide que le premier passage ou égale en temps, sauf pour le site de **Chaux 212** sur la modalité MC+C3B, mais ce point est difficile à expliquer. Enfin, à **La Celle d'Auvergne**, on constate un temps de travail largement moins important sur le deuxième passage de l'outil que sur les autres dispositifs. Ce point semble directement dû à l'effet chauffeur.

### Durée de travail estimée pour un hectare

En se basant sur notre schéma théorique de plantation et à partir de nos résultats chronométrés, on peut estimer que pour réaliser un hectare, la durée de travail du **C3B** serait entre 2h et 3h dans de bonnes conditions, et jusqu'à plus de 4h dans des conditions dégradées, **Figure 10**.

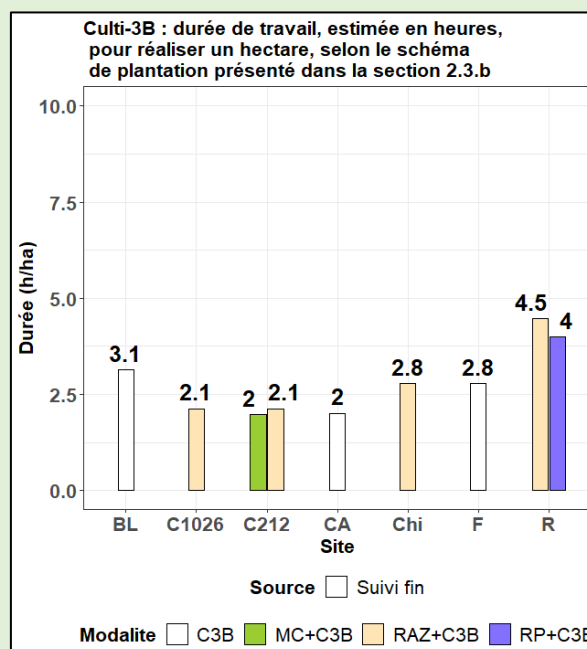


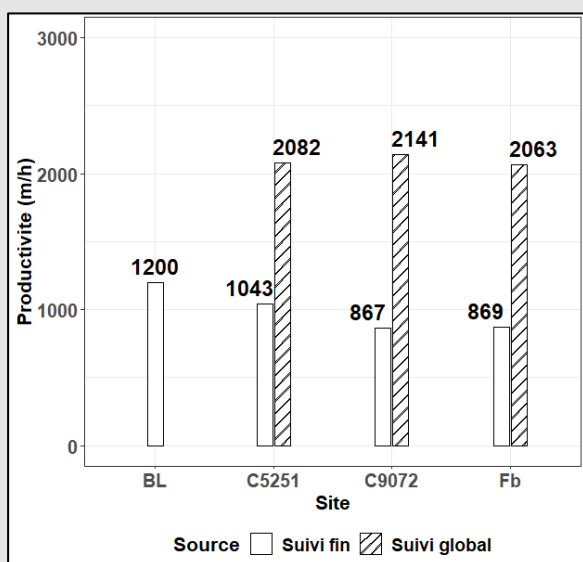
Figure 10 : C3B - Durée estimée en h/ha

**b. Charrue bidisques (CBD) : travail du sol avec double passage**

La **charrue bi-disques** est un outil tracté qui laboure le sol jusqu'à une profondeur de 35 cm, donnée constructeur, puis réalise un émiettement et tassement du sol. Le travail est ici réalisé en ligne, en **double passage** par ligne, par aller-retour.

**Productivité globale**

La productivité globale, **Figure 11**, fluctue entre 867 m/h (**Compiègne 5251**) et 1 200 m/h (**Bord-Louviers**) pour le suivi fin, et jusqu'à 2 141 m/h (**Compiègne 9072**) pour le suivi global.



*Figure 11 : CBD - Productivité globale à partir des différentes informations disponibles*

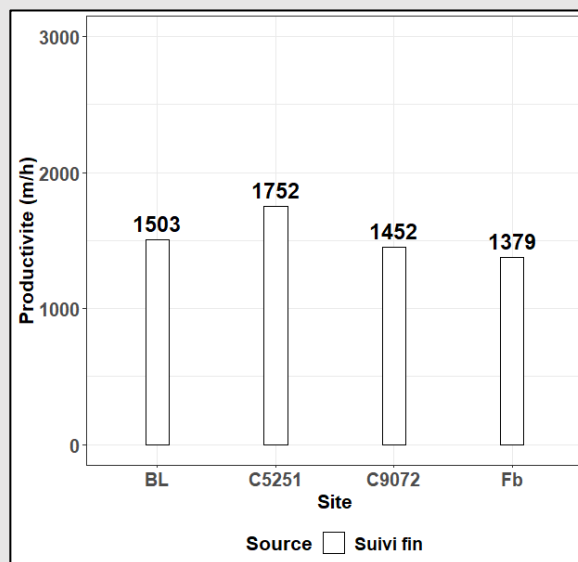
Les données des suivis globaux sont disponibles pour la plupart des dispositifs, à l'exception de **Bord-Louviers**. Les valeurs issues des suivis globaux sont largement supérieures aux valeurs issues des suivis fins. Les données des suivis globaux sont issues des fiches navette et le problème de la sous-estimation dans ces données du temps de travail réalisé a déjà été discuté.

**Productivité effective**

La productivité effective, **Figure 12**, fluctue entre 1 379 m/h (**Fontainebleau**) et 1 752 m/h (**Compiègne 5251**).



© E. Ulrich, ONF



*Figure 12 : CBD - Productivité effective à partir des données de suivi fin*

Un broyage en plein a été réalisé avant le passage de la **CBD** sur chacun de ces dispositifs.

Nous ne disposons pas d'informations concernant les chauffeurs, à savoir si c'est le même qui a réalisé le travail sur les différents sites. Il est visible que les résultats de productivité restent assez proches et que la variabilité peut être due au chauffeur ou au site.



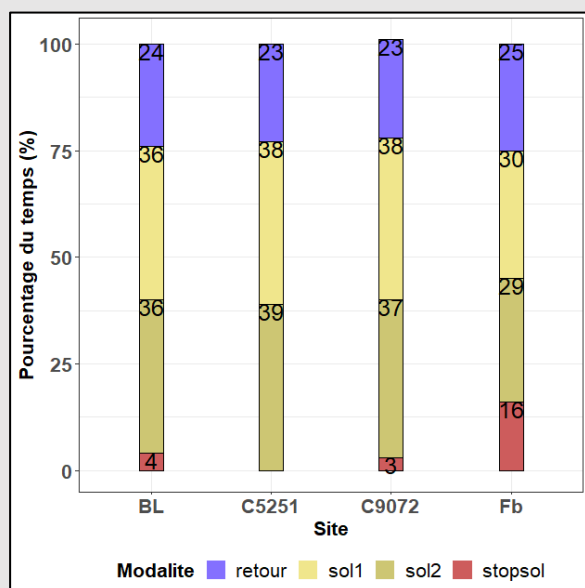


© E. Ulrich, ONF

### Répartition du temps de travail

Lorsqu'on regarde plus en détail la répartition de temps de travail effectif par phase, **Figure 13**, on constate que la répartition du temps de travail entre les différentes phases est plutôt semblable entre les dispositifs.

Le retournement en fin de ligne (*retour*) représente entre 23% et 25% du temps, le travail du sol en lui-même (*sol1* et *sol2*) entre 29% et 39% du temps par passage.



**Figure 13 : CBD - Répartition du temps de travail par phase à partir des données de suivi fin**

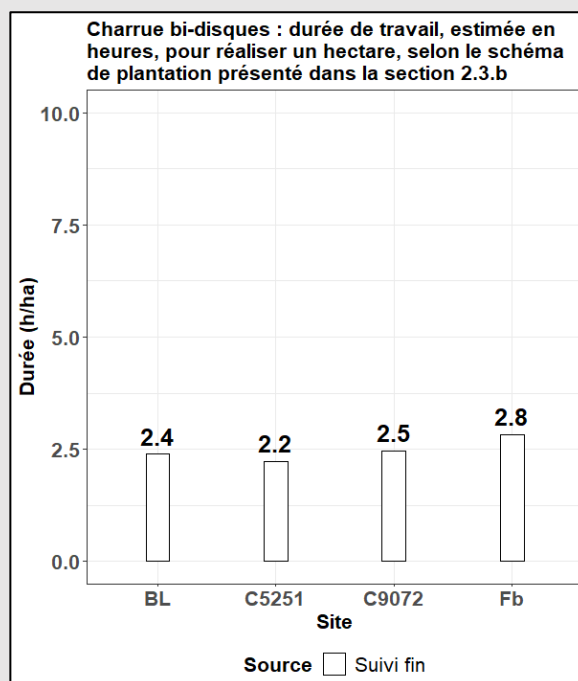
Il semble que le nombre de souches plus important sur le dispositif de **Fontainebleau** ait entraîné un temps plus important d'arrêt de travail du sol (*stopsol*).

On peut supposer qu'il y a eu un effet de la densité de souches sur la productivité du travail car la densité de souches était la plus faible sur le dispositif de **Compiègne (5251)** avec 61 souches/ha, contre 329 souches/ha sur le dispositif de **Fontainebleau**.

On ne peut cependant pas omettre que d'autres effets sont sûrement aussi présents et peuvent influencer directement les résultats.

### Durée de travail estimée pour un hectare

En se basant sur notre schéma théorique de plantation et à partir de nos résultats chronométrés, on peut estimer que pour réaliser un hectare, la durée de travail du **charrue bi-disques** serait entre 2h et 3h, selon le contexte, **Figure 14**.



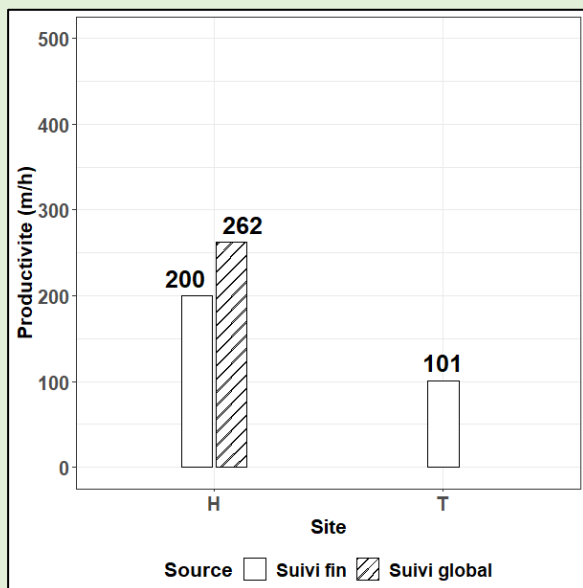
**Figure 14 : CBD – Durée de travail estimée en h/ha**

**c. DB10 : décapage, travail du sol en simple passage**

Le **DB10** est un outil monté sur pelle mécanique qui réalise un travail de décapage de la végétation, une décompaction du sol jusqu'à 60 cm de profondeur environ, ainsi que la création d'un billon. Le travail est ici réalisé en ligne, par simple passage.

**Productivité globale**

La productivité globale, **Figure 15**, fluctue entre 101 m/h (**Toul**) et 200 m/h (**Hémilly**) pour le suivi fin, et jusqu'à 262 m/h (**Hémilly**) pour le suivi global.



*Figure 15 : DB10 - Productivité globale à partir des différentes informations disponibles*

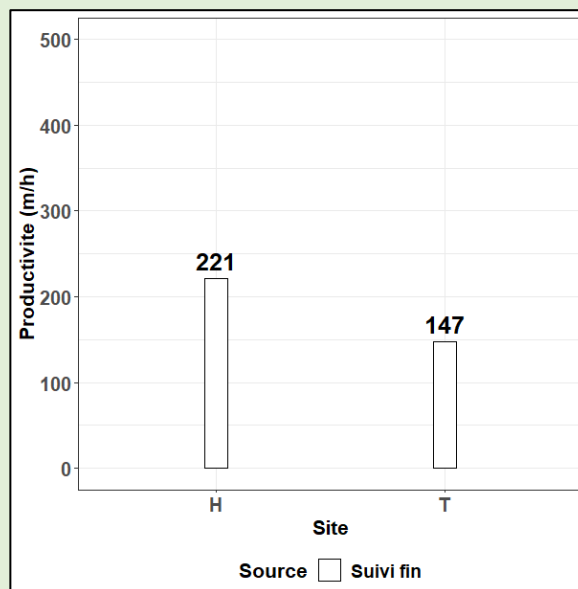
Une seule donnée de suivi global est disponible. C'est une donnée issue d'un carnet de bord à **Hémilly**.



© N. Dumas, INRAE

**Productivité effective**

La productivité effective, **Figure 16**, fluctue entre 147 m/h (**Toul**) et 221 m/h (**Hémilly**).



*Figure 16 : DB10 - Productivité effective à partir des données de suivi fin*

Il est important de noter que les **DB10** testés sur ces deux sites étaient différents : le peigne était plus grand sur **Hémilly**, avec trois dents de sous-solage, alors que seulement une dent était présente sur le site de **Toul**.

Il est aussi important de noter que les deux outils n'étaient pas montés sur une même taille de pelle : sur **Hémilly**, le **DB10** était monté sur une pelle de 13 tonnes, alors que sur **Toul** elle ne faisait que 8.8 tonnes.

Enfin, concernant le sol, dans les deux cas nous étions en présence d'un sol sec, mais la présence d'argile sur **Hémilly** a rendu le sol très compact donc beaucoup plus difficile à travailler.

Il est tout de même intéressant de noter que c'est le même chauffeur qui a réalisé le travail sur les deux sites, mais le travail du sol a cependant été réalisé de manière moins appliquée et de manière plus hâtive sur le site **d'Hémilly** par rapport à **Toul**.

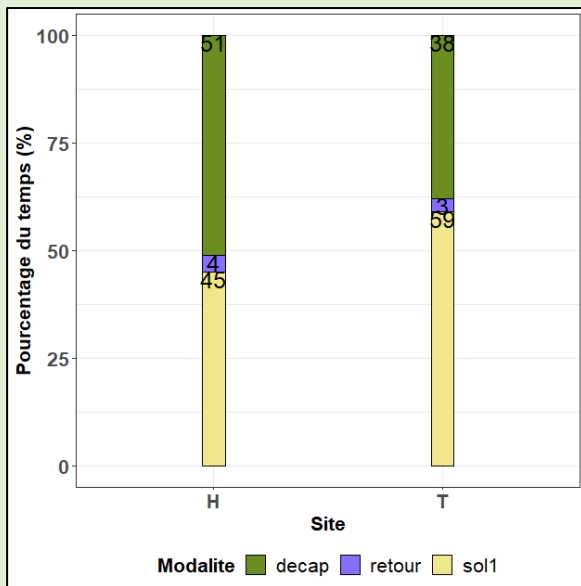




© N. Dumas, INRAE

**Répartition des temps**

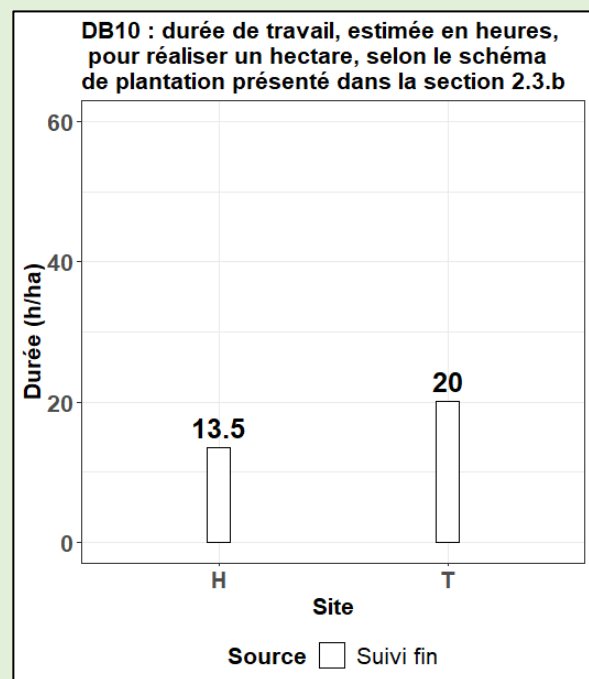
Lorsqu'on regarde plus en détail la répartition de temps de travail effectif par phase, **Figure 17**, on constate un temps de décapage (*decap*) plus important sur le dispositif **d'Hémilly**. La végétation très vigoureuse sur ce site (Molinie et Calamagrostis) ainsi que l'utilisation d'une pelle plus puissante et d'un outil doté de 3 dents peut expliquer ce temps plus long passé pour le décapage par rapport au temps passé au travail du sol. L'utilisation d'un outil à 3 dents permet en effet de réduire le temps passé à travailler le sol (*sol1*), mais impacte peu la phase de décapage de la végétation.



**Figure 17 : DB10 - Répartition du temps de travail par phase à partir des données de suivi fin**

**Durée de travail estimée pour un hectare**

En se basant sur notre schéma théorique de plantation et à partir de nos résultats chronométrés, on peut estimer que pour réaliser un hectare, la durée de travail du **DB10** serait entre 13h30 et 20h par hectare, selon les conditions du site, la taille de la pelle, l'application du conducteur et la composition du **DB10**, **Figure 18**.



**Figure 18 : DB10 – Durée de travail estimée en h/ha**

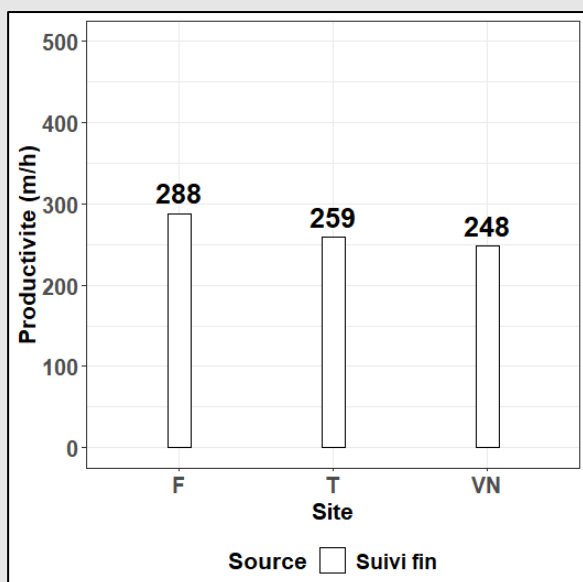
Au vu de tous les faits énoncés, il reste difficile de conclure à des résultats pour cet outil au vu des fortes différences entre les deux sites.

**d. Dent Maillard (DM) : décapage, travail du sol en simple passage**

La **dent Maillard** est un outil monté sur pelle qui réalise un travail de décompactage des sols jusqu'à plus de 70 cm de profondeur et permet de déblayer le sol des obstacles et d'éliminer la végétation concurrente. Le travail est ici réalisé en ligne, par **simple passage**.

**Productivité globale**

La productivité globale, **Figure 19**, fluctue entre 248 m/h (**Villiers-Nonains**) et 288 m/h (**Fréteigny**) pour le suivi fin. Aucune donnée de suivi global n'est disponible pour cet outil.



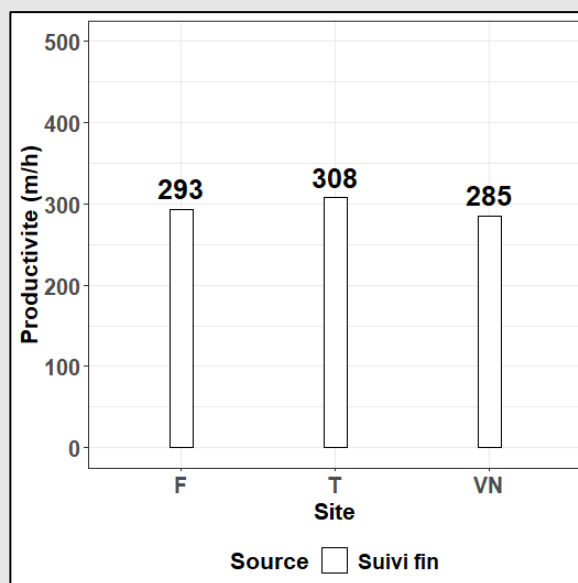
*Figure 19 : DM - Productivité globale à partir des différentes informations disponibles*



© N. Dumas, INRAE

**Productivité effective**

La productivité effective, **Figure 20**, fluctue entre 285 m/h (**Villiers-Nonains**) et 308 m/h (**Toul**). Ces résultats de productivité restent très proches entre les sites.



*Figure 20 : DM - Productivité effective à partir des données de suivi fin*

### Répartition des temps

Lorsqu'on regarde plus en détail la répartition de temps de travail effectif par phase, **Figure 21**, on constate une absence de phase de décapage (*decap*) pour le site de **Frétigney** qui s'explique directement par la réalisation d'un broyage en plein avant travail avec la **dent Maillard**.

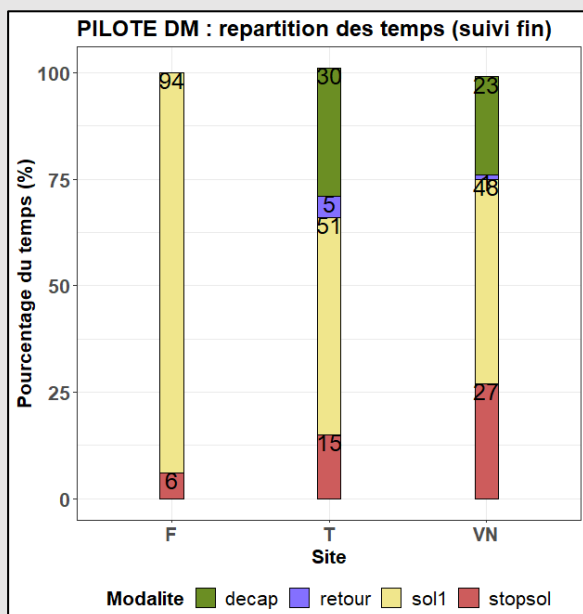


Figure 21 : DM - Répartition du temps de travail par phase à partir des données de suivi fin

Cependant, comme on a pu voir, on ne constate pas de différence de productivité effective par rapport aux autres sites où une étape de décapage a eu lieu.

De plus, il est important de noter que c'est le même chauffeur expérimenté qui a réalisé le travail sur les trois sites, et que l'outil étant monté sur une pelle lourde (22-23 tonnes), la compacité du sol n'a que peu d'effet sur l'efficacité du travail.

Si on continue d'observer la répartition des phases, on constate un temps d'arrêt du travail (*stopsol*) plus important sur les sites de **Villiers-Nonains** et de **Toul**. Cela correspond au déplacement de l'engin sur la ligne de travail, sans arrêt particulier dénoté dans les chronométrages. On peut donc supposer que la

légère variabilité observée résulte de la variabilité entre dispositifs.



© N. Dumas, INRAE

### Durée de travail estimée pour un hectare

En se basant sur notre schéma théorique de plantation et à partir de nos résultats chronométrés, on peut estimer que pour réaliser un hectare, la durée de travail de la **Dent Maillard** serait entre 10h et 11h, **Figure 22**.

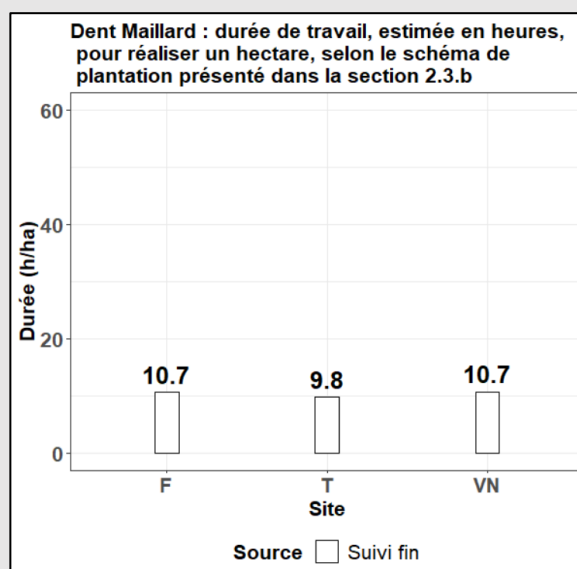


Figure 22 : DM – Durée de travail estimée en h/ha

**e. SSMF et ModulD : décapage, travail du sol, billonnage en simple passage**



© L. Wehrlen, INRAE

Le **SSMF** et le **ModulD** sont deux outils montés sur pelle, avec des dimensions très variables en fonction des modèles. Ils se composent de la même manière, mais le **ModulD** dispose d'un peigne interchangeable, et dont l'inclinaison est modulable. Ces outils permettent de déblayer le sol des obstacles, d'éliminer la végétation concurrente, de décompacter des sols jusqu'à 65 cm de profondeur et de réaliser, si souhaité, un travail de billonnage. Le travail peut se réaliser en ligne par **simple passage**, par placeaux, ou encore par potets. Leur conception proche nous permet de les étudier ensemble dans cette fiche.

Pour le travail par potets, la productivité globale fluctue entre 84 potets/h (**Frétiligny**) et 119 potets/h (**La Celle d'Auvergne**) en suivi fin.

Pour le travail en ligne, la productivité globale fluctue entre 66 m/h (**Chinon**) et 91 m/h (**Compiègne 9072**) pour le travail en ligne, à plat, en suivi fin, avec des résultats pour les suivis globaux très proches. Pour un travail billonné, la productivité globale fluctue entre 49 m/h (**Toul**) et 152 m/h (**Chaux 1026**) en billonné, en suivi fin.

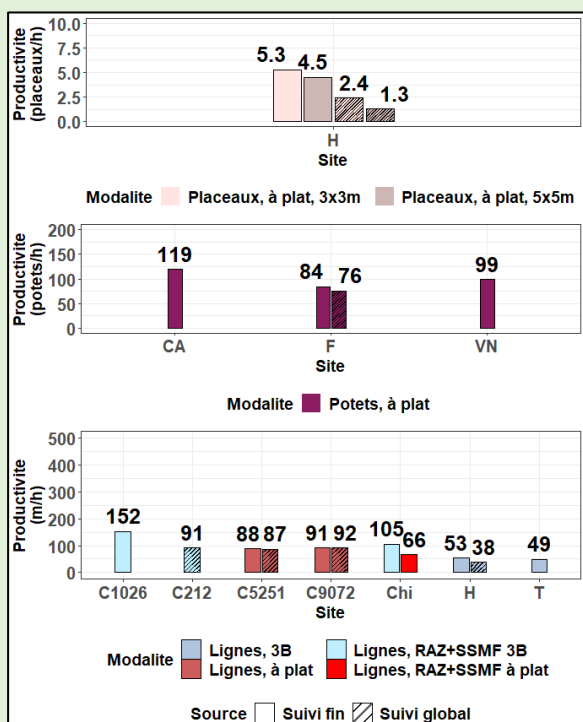
**Productivité globale**

Pour le travail par placeaux, la productivité globale est de 4.5 placeaux/h pour la dimension 5mx5m et de 5.3 placeaux /h pour la dimension 3mx3m en suivi fin. Le résultat est bien plus faible en suivi global, .

Les données de suivis globaux sont issues de carnet de bord à **Hémilly** (complétés avec les informations disponibles dans les CRI) et **Frétiligny** (pour le travail en potets) et de fiches navette et carnets de bord à **Compiègne** (pour le travail en ligne).

**Productivité effective**

Pour le travail par placeaux, la productivité effective, **Figure 24**, est de 4.6 placeaux/h pour la dimension 5mx5m et de 5.3 placeaux /h pour la dimension 3mx3m. Il est intéressant de noter que la productivité effective est légèrement plus importante pour une taille de 3 x 3 m, malgré un travail qui a été jugé lent pour cette modalité. Il est important de faire remarquer au lecteur que lorsque le travail du sol est réalisé par placeau, la densité de plantation sera différente en fonction de la taille des placeaux, mais la densité « objectif », c'est-à-dire avant coupe rase, restera la même, peu importe la dimension des placeaux.



**Figure 23 : SSMF et ModulD - Productivité globale (haut : placeaux/h, milieu : potets/h, bas : m/h) à partir des différentes informations disponibles**

Pour le travail par potet, la productivité effective, **Figure 24**, fluctue entre 103 potets/h (**Frétiligny**) et 144 potets/h (**La Celle d'Auvergne**) selon les sites. Le schéma de plantation entre les trois sites est plutôt semblable. Pour les trois sites, un travail préalable de préparation du terrain avait été réalisé. Sur **la Celle d'Auvergne**, le travail a été réalisé en travaillant sur deux lignes à la fois. Sur **Villiers-Nonains** et **Frétiligny**, il semble que le travail a été réalisé sur une ligne à la fois.

Les résultats montrent donc un effet évident de la méthode de travail (par une ou deux lignes), tout en n'oubliant pas des effets chauffeur et site sûrement présents.

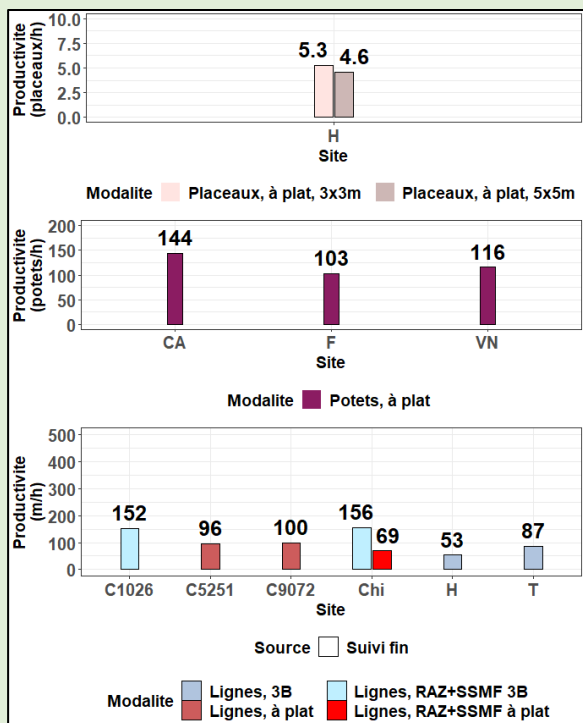


Figure 24 : SSMF et ModulD - Productivité effective (haut : placeaux/h, milieu : pots/h, bas : m/h) à partir des différentes informations disponibles

Pour le travail en ligne, la productivité effective, Figure 24, fluctue entre 69 m/h (Chinon) et 100 m/h (Compiègne 9072) pour un travail à plat, et entre 53 m/h (Hémilly) et 156 m/h (Chinon) pour un travail billonné, en fonction de la préparation préalable du terrain.

Pour le site d'Hémilly, on ne retrouve que peu de différence entre productivité globale et effective qui s'explique par la durée du suivi qui est d'une heure et comprend essentiellement les phases de travail effectif.

Pour le site de Toul en revanche, on remarque bien que la productivité effective diffère de la productivité globale, sachant que le suivi a duré presque 5 heures. La productivité est bien meilleure sur le site de Toul par rapport à

Hémilly pour une même modalité, malgré la forte présence de souche. Ceci peut s'expliquer par l'état du sol lors du travail, où le sol était plus compact et difficile à travailler sur le site d'Hémilly, par rapport au site de Toul.



© L. Wehrlen, INRAE

Il est important de noter que pour le site de Chinon, la productivité effective est meilleure pour le travail en billonnage que pour le travail à plat. Or, le travail en billonnage demande plus d'étape de travail (5 coups de dent) que pour le travail à plat (3 coups de dent). Il semblerait que la modalité à plat ait été réalisée par un chauffeur de mini-pelle débutant ce qui explique le travail plus lent.

Pour les sites de Compiègne, le même chauffeur a réalisé le travail. Pour les modalités billonnées, il semble aussi que ce soit le même chauffeur qui ait réalisé le travail, mais un chauffeur différent de Compiègne. C'est le même opérateur qui a réalisé le travail en placeaux de 5 m x 5 m et en ligne sur Hémilly. Pour les autres modalités, ce sont des opérateurs différents. Il est intéressant de montrer que les productivités lorsque le travail a été réalisé par le même chauffeur restent assez proches entre les sites.

### Répartition des temps

Lorsqu'on regarde plus en détail la répartition de temps de travail effectif par phase, Figure 25, on constate notamment une importante phase de décapage pour les sites de Hémilly (15% à 19% du temps), Toul (38% du temps), Villiers-Nonains (37% du temps) et Compiègne (48% à 62% du temps).

Pour le travail en potets sur le site de Villiers-Nonains et en placeaux, sur Hémilly et Toul, on constate un fort temps d'arrêt de travail du sol qui correspond au temps de déplacement sur la ligne ou entre les placeaux. Pour les autres sites (CA et F), la phase d'arrêt de travail du sol pour avancer sur la ligne n'a pas été distingué.

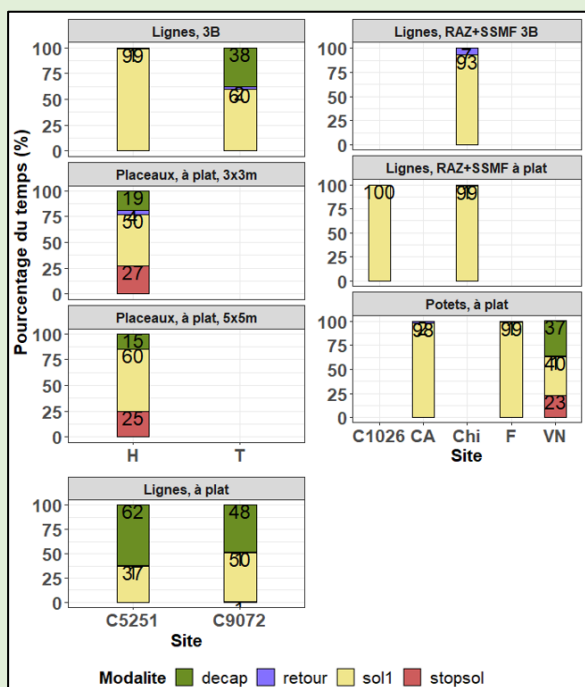


Figure 25 : SSMF et ModulD - Répartition du temps de travail par phase à partir des données de suivi fin

Sur les modalités sans passage préalable d'outils pour décap, notamment pour le travail en ligne sur **Hémilly** et le travail en potet sur **Frétigney**, il n'y a pas eu de distinction des phases travail de sol et décapage qui sont toutes les deux ici regroupées dans la phase sol1. Cette phase de décapage est directement expliquée par la non préparation du terrain avant travail du sol sur ces deux sites. Pour le site de **Frétigney** il semble cohérent qu'aucun travail de décapage n'ait eu lieu, dû au broyage en plein.

Enfin, on constate une importante phase de décapage sur les dispositifs de **Compiègne**, ce qui pourrait expliquer pourquoi la productivité effective pour un travail à plat a été plus faible que pour un travail billonné sur le site de **Chaux**. En effet, le passage du **RAZ** pour les autres sites a facilité la partie travail de sol avec le **SSMF**.



© L. Wehrle, INRAE

### Durée de travail estimée pour un hectare

En se basant sur notre schéma théorique de plantation et à partir de nos résultats chronométrés, on peut estimer que pour réaliser un hectare, la durée de travail du **ModulD** ou du **SSMF** serait entre 8h et 12h par hectare pour un travail en potets à plat, **Figure 26**, entre 30h et 43h par hectare pour un travail en ligne à plat, et entre 20 et 56h par hectare, pour un travail en ligne billonné, selon les modalités et conditions de travail.

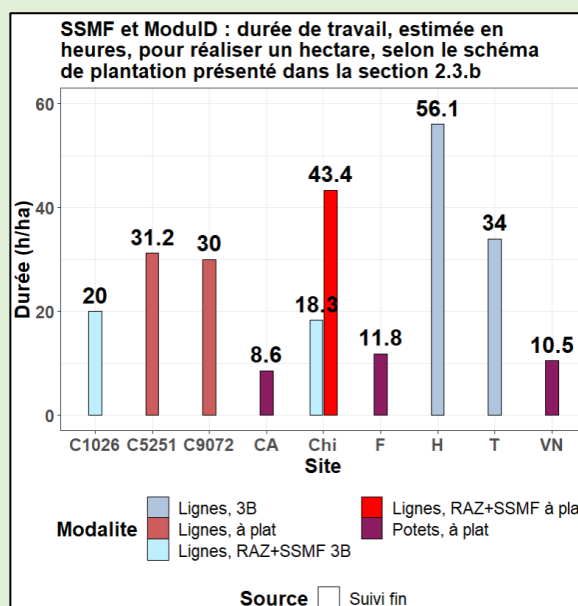


Figure 26 : SSMF et ModulD – Durée de travail estimée en h/ha



**f. Razherb (RAZ) : décapage**

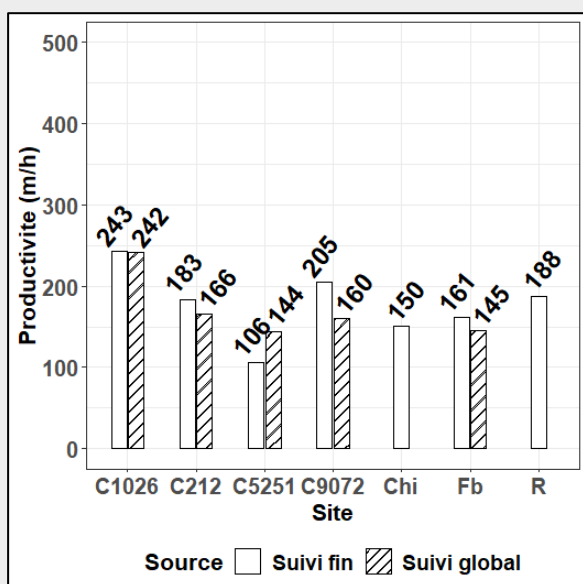
La **RAZ** est un outil monté sur pelle qui réalise un décapage de la végétation concurrente. Le travail est réalisé ici en ligne, par simple passage.



© L. Wehrlen, INRAE

**Productivité globale**

La productivité globale, **Figure 27**, fluctue entre 106 m/h (**Compiègne 5251**) et 243 m/h (**Chaux 1026**) pour le suivi fin. Elle fluctue de 144 m/h (**Compiègne 5251**) à 242 m/h (**Chaux 1026**) pour le suivi global.

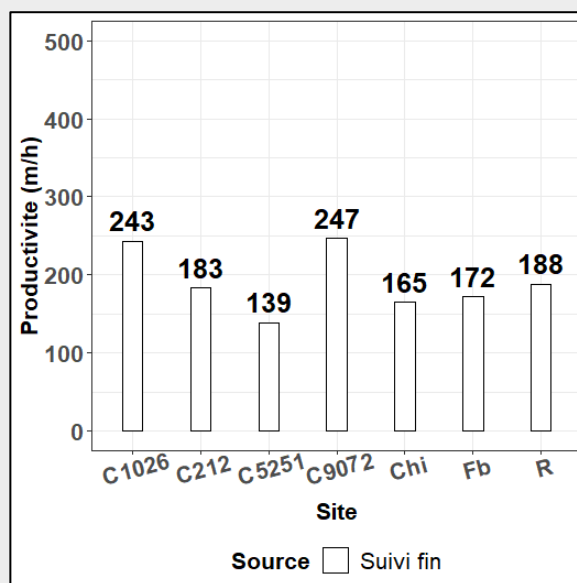


**Figure 27 : RAZ - Productivité globale à partir des différentes informations disponibles**

Les données des suivis globaux pour cet outil sont disponibles pour une grande partie des dispositifs, sauf Chinon et Rennes. Ce sont des données de carnets de bord. Les valeurs issues des suivis globaux sont assez proches des données de suivis fins.

**Productivité effective**

La productivité effective, **Figure 28**, fluctue entre 139 m/h (**Compiègne 5251**) et 247 m/h (**Compiègne 9072**).



**Figure 28 : RAZ - Productivité effective à partir des données de suivi fin**

On constate peu de différence avec la productivité globale. Il semble que ce soit le même chauffeur qui ait réalisé le travail sur la majorité des sites, sauf sur le site de **Fontainebleau**. On peut donc dire que la variabilité de productivité résulte essentiellement d'un effet site (humidité, végétation concurrente, densité de souches, rémanents, ...).

On peut en plus rajouter que même avec des caractéristiques de sites assez semblables (cas des sites de Chaux avec en végétation concurrente fougères et graminées et une densité de souches proches), la productivité peut différer assez fortement.

Pour les sites de **Compiègne**, il est intéressant de constater que le décapage a semblé plus facile sur la parcelle 9072 en présence de houlque molle mais avec une forte densité de souches, plutôt que sur la parcelle 5251 en présence de calamagrostis mais avec une moins forte densité de souches.

### Répartition des temps

Lorsqu'on regarde plus en détail la répartition de temps de travail effectif par phase, **Figure 29**, le temps de décapage (*decap*) représente pratiquement 100% du temps effectif chronométré. Aucun arrêt du travail (*stopsol*) n'a été mentionné dans les chronométrages.

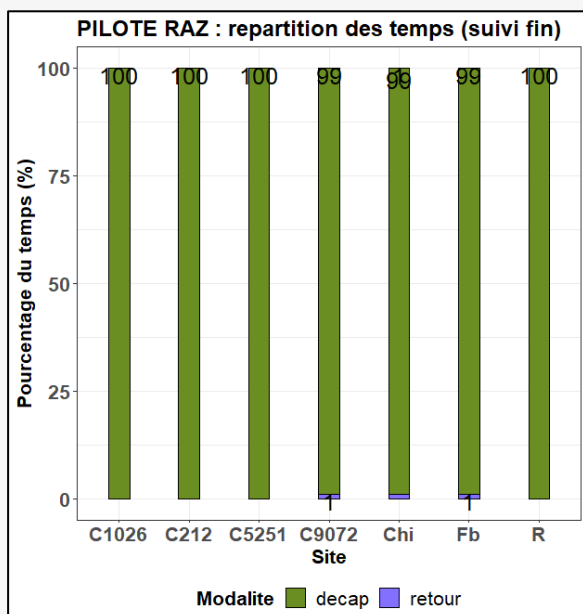


Figure 29 : RAZ - Répartition du temps de travail par phase à partir des données de suivi fin

### Durée de travail estimée pour un hectare

En se basant sur notre schéma théorique de plantation et à partir de nos résultats chronométrés, on peut estimer que pour réaliser un hectare, la durée de travail du **RAZ** serait entre 12h30 et 22h selon le contexte de sol, d'humidité et de végétation, **Figure 30**.



© L. Wehrle, INRAE

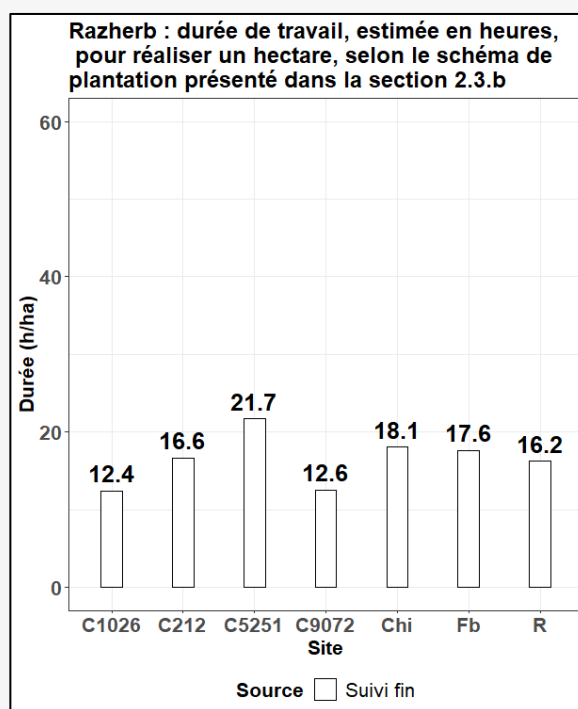


Figure 30 : RAZ - Productivité effective estimée en h/ha

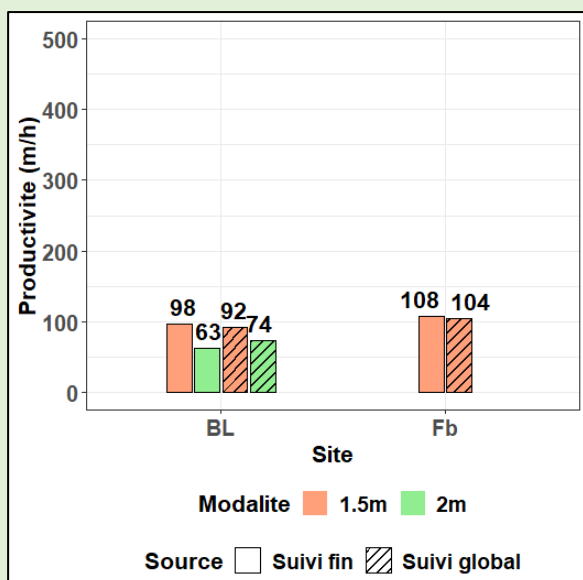


**g. Scarificateur réversible (SR) : décapage, travail du sol en simple passage**

Le **SR** est un outil monté sur pelle qui réalise un travail de décompactage des sols jusqu'à 60 cm de profondeur et permet de déblayer le sol des obstacles et d'éliminer la végétation concurrente. Le travail est ici réalisé en ligne (de 1.5 m et 2 m de large) par **simple passage** pour l'arrachage des rhizomes de fougère aigle.

**Productivité globale**

La productivité globale, **Figure 31**, fluctue entre 98 m/h (**Bord-Louviers**) et 108 m/h (**Fontainebleau**) pour le suivi fin en travail sur 1.5 m de largeur. La productivité globale est en revanche de 63 m/h pour un travail sur 2 m de largeur pour le suivi fin.



*Figure 31 : SR - Productivité globale à partir des différentes informations disponibles*

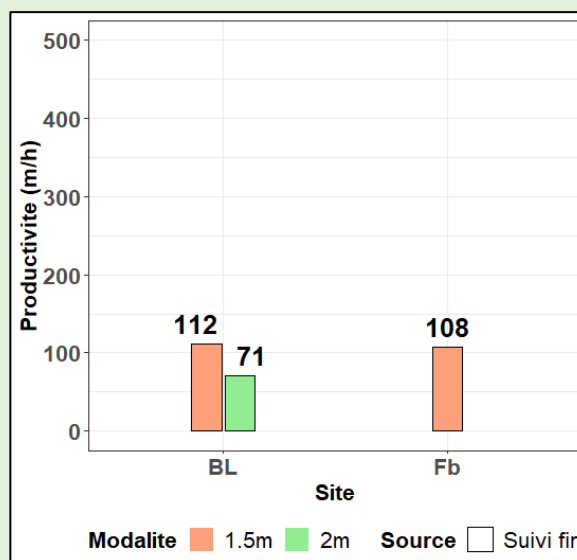
Les données des suivis globaux pour cet outil sont disponibles pour tous les dispositifs. Ce sont des données de carnets de bord. Les valeurs issues des suivis globaux sont assez proches des données de suivis fins, notamment pour le dispositif de **Fontainebleau**.

**Productivité effective**

La productivité effective, **Figure 32**, fluctue entre 108 m/h (**Fontainebleau**) et 112 m/h (**Bord-Louviers**) pour une largeur de travail de 1.5 m. La productivité effective est plus faible pour une largeur de travail de 2 m avec 71 m/h (**Bord-Louviers**).



© L. Wehrlen, INRAE



*Figure 32 : SR - Productivité effective à partir des données de suivi fin*

Le même conducteur a réalisé le travail pour les deux largeurs sur le site de **Bord-Louviers**. C'est un autre conducteur qui a réalisé le travail sur le site de **Fontainebleau**. Malgré un effet site et chauffeur, on constate peu de variabilité sur la productivité.

Enfin, il est important de noter que, dans notre cas, lorsqu'on définit une largeur de travail sur 2 m, donc qu'on augmente de 30% la largeur travaillée, cela a augmenté de 50% le temps de travail, par rapport à une largeur de 1.5 m. L'augmentation de la largeur de travail permet cependant de diminuer l'impact de la végétation concurrente (ex : fronde de fougères qui retombent sur la plantation).



© L. Wehrlen, INRAE

### Répartition des temps

Lorsqu'on regarde plus en détail la répartition de temps de travail effectif par phase, **Figure 33**, le temps de décapage (*decap*) représente pratiquement 100% du temps effectif chronométré.

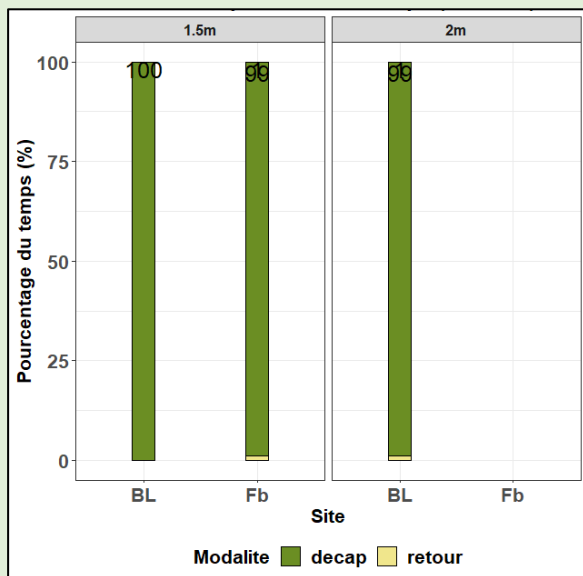


Figure 33 : SR - Répartition du temps de travail par phase à partir des données de suivi fin

### Durée de travail estimée pour un hectare

En se basant sur notre schéma théorique de plantation et à partir de nos résultats chronométrés, on peut estimer que pour réaliser un hectare, la durée de travail du **SR** serait entre 27h et 28h pour une largeur de travail de 1.5 m, et de 42h pour une largeur de travail de 2 m, **Figure 34**.

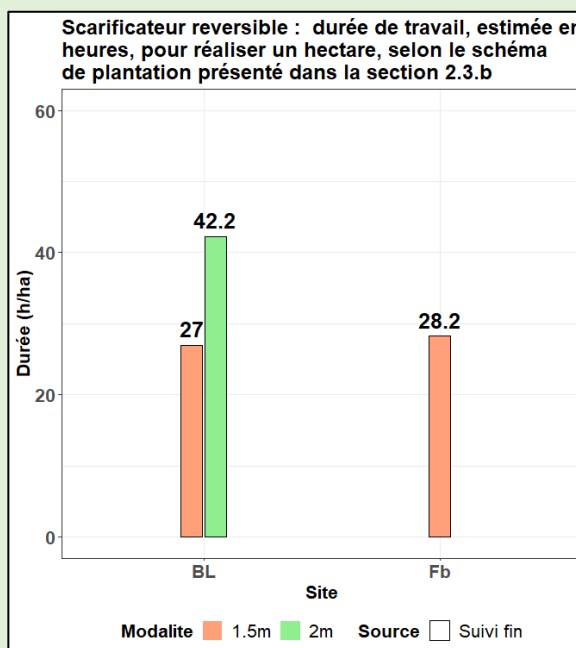


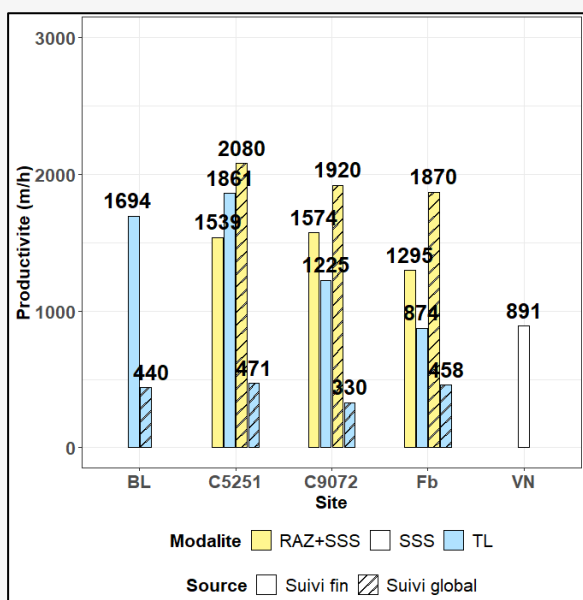
Figure 34 : SR – Durée de travail estimée en h/ha

### h. Sous-soleur simple (SSS) : travail du sol en simple passage

Le **SSS** est un outil tracté qui réalise un travail de décompactage des sols à 40 cm, et jusqu'à 70 cm de profondeur. Le travail est ici réalisé en ligne, par **simple passage**.

#### Productivité globale

La productivité globale, **Figure 35**, fluctue entre 874 m/h (**Fontainebleau**) et 1861 m/h (**Compiègne 5251**) selon les modalités, pour le suivi fin, et entre 330 m/h (**Compiègne 9072**) et 2 080 m/h (**Compiègne 5251**) selon les modalités, pour le suivi global.



**Figure 35 : SSS - Productivité globale à partir des différentes informations disponibles**

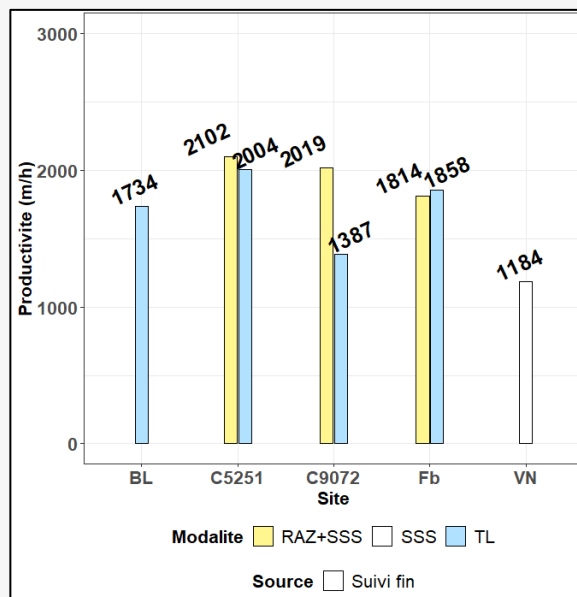
Les données des suivis globaux pour cet outil sont disponibles pour tous les dispositifs, sauf **Villiers-Nonains**. Les valeurs issues des suivis globaux sont largement inférieures ou inversement largement supérieures aux valeurs issues des suivi fin. Les données des suivis globaux sont issues des fiches navette et le problème de la sous-estimation dans ces données du temps de travail réalisé a déjà été discuté.



© A. Frauenfelder, INRAE

#### Productivité effective

La productivité effective, **Figure 36**, fluctue entre 1 184 m/h (**Villiers-Nonains**) et 2 102 m/h (**Compiègne 5251**).



**Figure 36 : SSS - Productivité effective à partir des données de suivi fin**

La modalité TL (technique locale) est une modalité propre aux dispositifs de **Compiègne**, **Bord-Louviers** et **Fontainebleau**, qui représente le travail de sous-solage réalisé classiquement dans leur région, après un broyage en plein.

Pour le site de **Compiègne 9072**, on constate un fort écart de productivité entre les deux modalités. Il est difficile à expliquer ce résultat car il n'y a pas de commentaires particuliers dans les chronométrages, mais le temps très court de chronométrage (15 min) pourrait l'expliquer.

### Répartition des temps

Lorsqu'on regarde plus en détail la répartition du temps de travail effectif par phase, **Figure 37**, le temps de travail du sol représente entre 63% et 84% du temps de travail effectif.

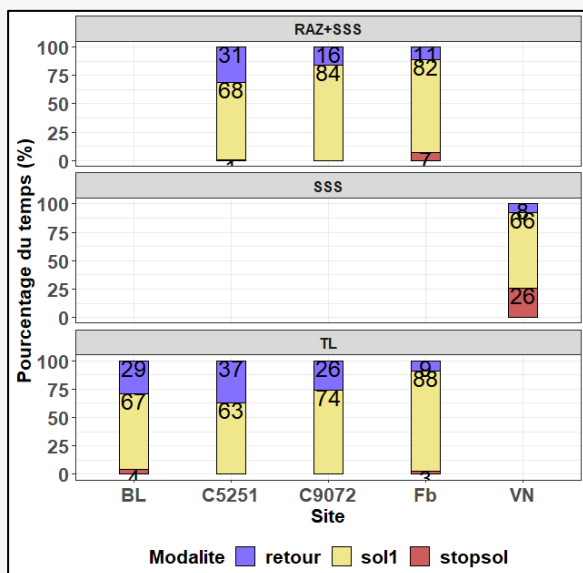


Figure 37 : SSS - Répartition du temps de travail par phase à partir des données de suivi fin

Pour le site de **Villiers-Nonains**, on constate un fort temps d'arrêt du travail du sol qui explique la plus faible productivité. Le site n'ayant pas eu de dessouchage préalable, l'outil a eu du mal à avancer à cause des multiples racines qui bloquaient l'outil et a entraîné de nombreux arrêts pour relever l'outil et le rebaissier.

### Durée de travail estimée pour un hectare

En se basant sur notre schéma théorique de plantation et à partir de nos résultats chronométrés, on peut estimer que pour réaliser un hectare, la durée de travail du **SSS** serait entre 1h20 et 2h par hectare lorsqu'il y a eu un travail de décapage au préalable, ou jusqu'à 3h/ha si seulement un travail de nettoyage a eu lieu. **Figure 38**.



© A. Frauenfelder, INRAE

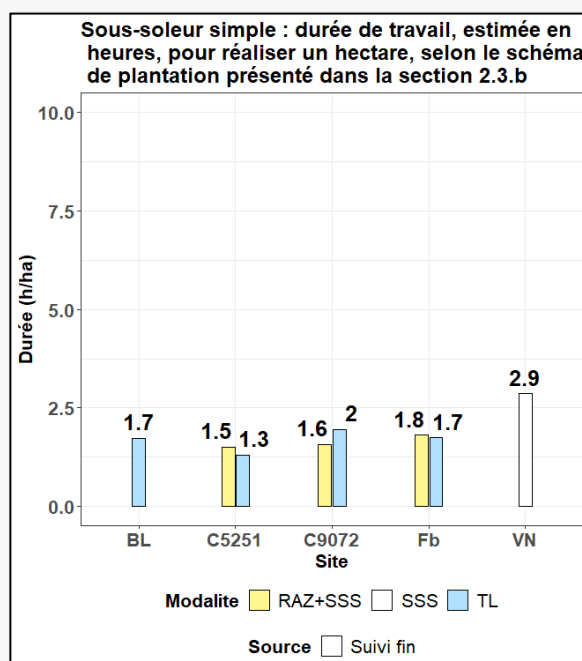


Figure 38 : SSS – Durée de travail estimée en h/ha

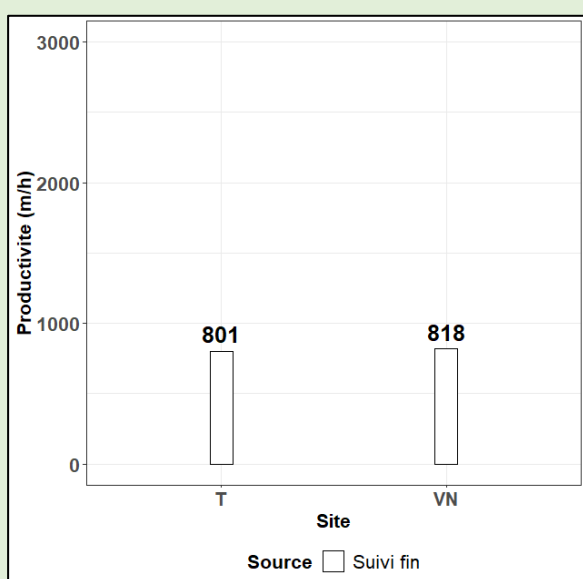
**i. Sous-soleur deporté (SSD) : travail du sol avec double passage, en aller-retour**



Le **SSD** est un outil tracté qui réalise un travail de décompactage des sols à 40 cm et jusqu'à 70 cm de profondeur. Le travail est ici réalisé en ligne, en **double passage par ligne**, par aller-retour.

**Productivité globale**

La productivité globale, **Figure 39**, fluctue entre 801 m/h (**Toul**) et 818 m/h (**Villiers-Nonains**) pour le suivi fin. Aucune donnée de suivi global n'est disponible pour cet outil.

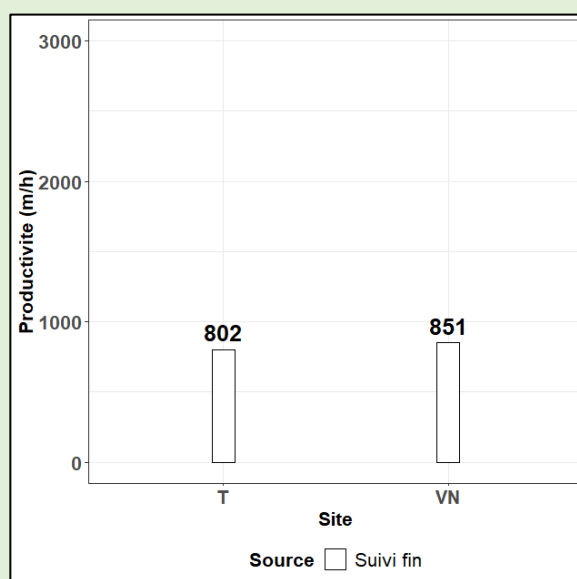


*Figure 39 : SSD - Productivité globale à partir des différentes informations disponibles*

**Productivité effective**

La productivité effective, **Figure 40**, fluctue entre 802 m/h (**Toul**) et 851 m/h (**Villiers-Nonains**) pour le suivi fin. Sur le site de **Toul**, c'est un tracteur sous-dimensionné qui a réalisé le travail, ce qui a pu entraîner des difficultés pour l'avancement. Ce sont des chauffeurs différents sur les deux sites qui ont réalisé le travail. Les productivités effectives restent cependant proches entre les deux sites.

© A. Frauenfelder, INRAE



*Figure 40 : SSD - Productivité effective à partir des données de suivi fin*



© A. Frauenfelder, INRAE

### Répartition des temps

Lorsqu'on regarde plus en détail la répartition de temps de travail effectif par phase, **Figure 41**, on constate un temps de travail du sol assez équivalent entre les deux dispositifs.

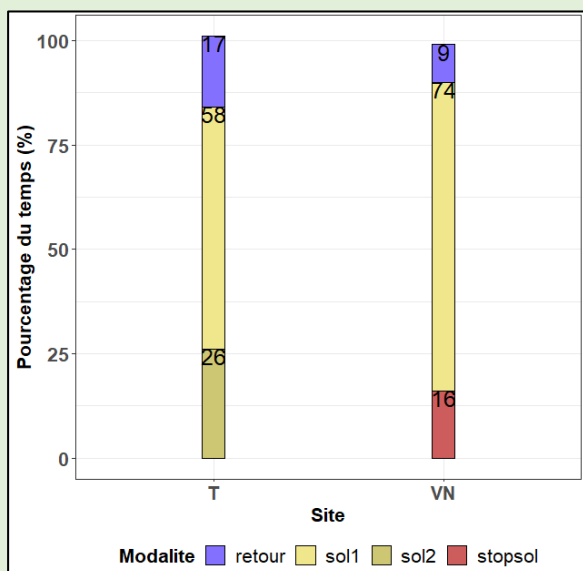


Figure 41 : SSD - Répartition du temps de travail par phase à partir des données de suivi fin

Pour le dispositif de **Frétigny**, on ne dispose pas du détail entre les deux passages de travail du sol.

Pour **Toul**, il semble que le deuxième passage de travail de sol soit deux fois plus rapide que le premier passage.

Pour **Villiers-Nonains**, il n'y a pas de détail sur l'origine des arrêts de travail du sol mais on peut supposer que l'origine est la même que pour le **sous-soleur simple**.

Il est intéressant de noter que pour un double passage par ligne, le **SSD** ne demande pas un double temps de travail, donc le second passage (*sol2*) est réalisé plus rapidement.

### Durée de travail estimée pour un hectare

En se basant sur notre schéma théorique de plantation et à partir de nos résultats chronométrés, on peut estimer que pour réaliser un hectare, la durée de travail du **SSD** serait entre 3h30 et 4h, selon les conditions, **Figure 42**.

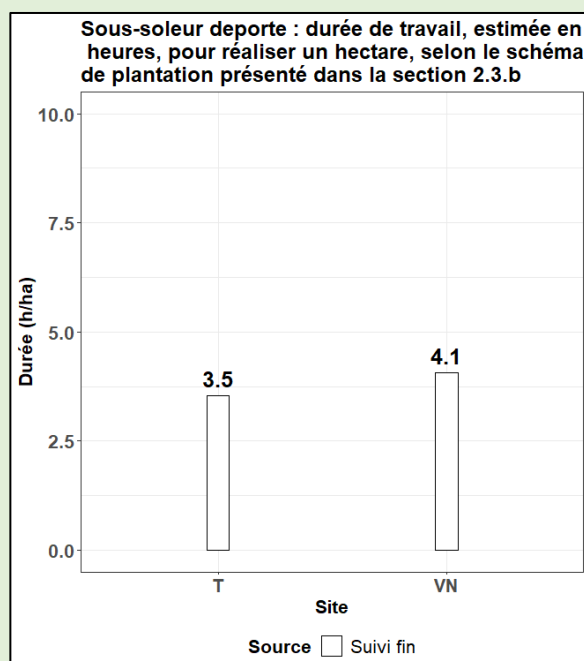


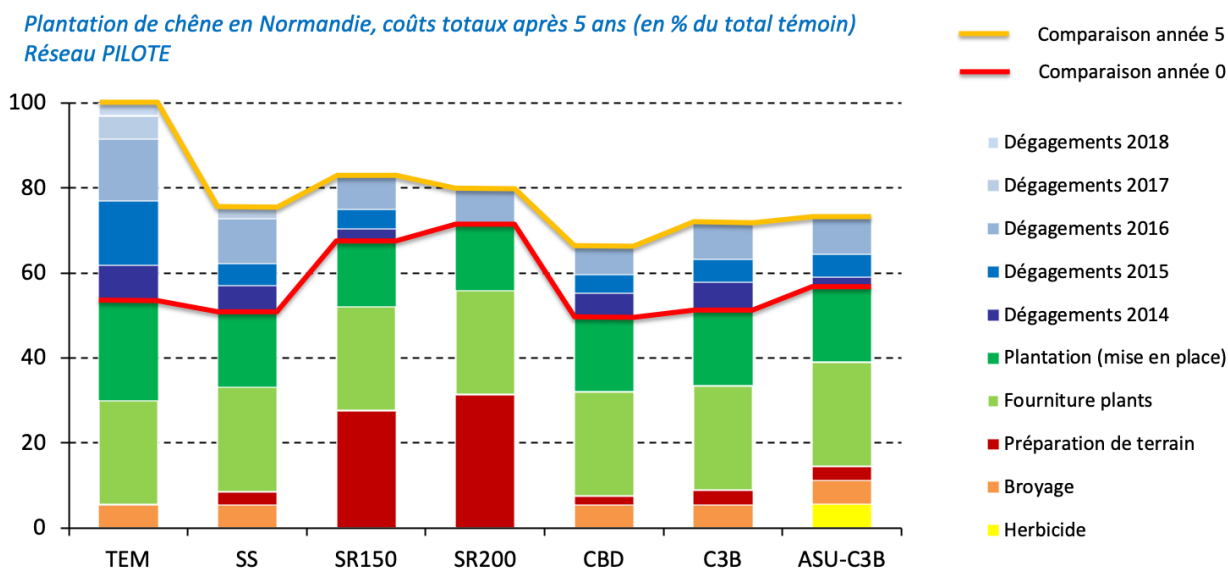
Figure 42 : SSD - Durée de travail estimée en h/ha

### 3.3. Par dispositif

Dans cette seconde partie de résultats, pour chaque dispositif, les productivités horaires effectives sont présentées pour les différents outils présents sur le dispositif. La productivité effective est issue uniquement des données de suivi fin (chronométrage) et les phases pour lesquelles le travail est effectif (travail du sol, décapage, déplacement lors du travail du sol, etc...). Cela correspond donc au calcul de la productivité à partir des phases surlignées en vert dans le Tableau 8. Lorsque plusieurs modalités sont présentes, elles sont différenciées par la couleur de remplissage des barres.

Ces données de productivité horaire par outil et modalité pour un même dispositif ne permettent cependant pas d'interpréter les résultats présentés. Pour pouvoir interpréter les résultats sur un même dispositif et comparer la productivité des outils, il serait intéressant de disposer des résultats en termes de coûts. Dans un premier temps le coût pour la préparation mécanisée des dispositifs, puis d'intégrer les coûts des prestations antérieures (broyage) et postérieures (plantation, dégagements) à celle-ci, pour obtenir une information générale sur les étapes de renouvellement. Pour exemple, le graphique ci-dessous représente le coût des itinéraires de préparation mécanisée des dispositifs après 5 ans, du broyage ou du traitement herbicide, jusqu'aux dégagements. Cela permet ainsi de comparer le coût à l'année 0 (donc après PMS) et en prenant en compte par la suite en plus les coûts liés à l'entretien, avec les dégagements.

#### Productivité et coûts de la PMS

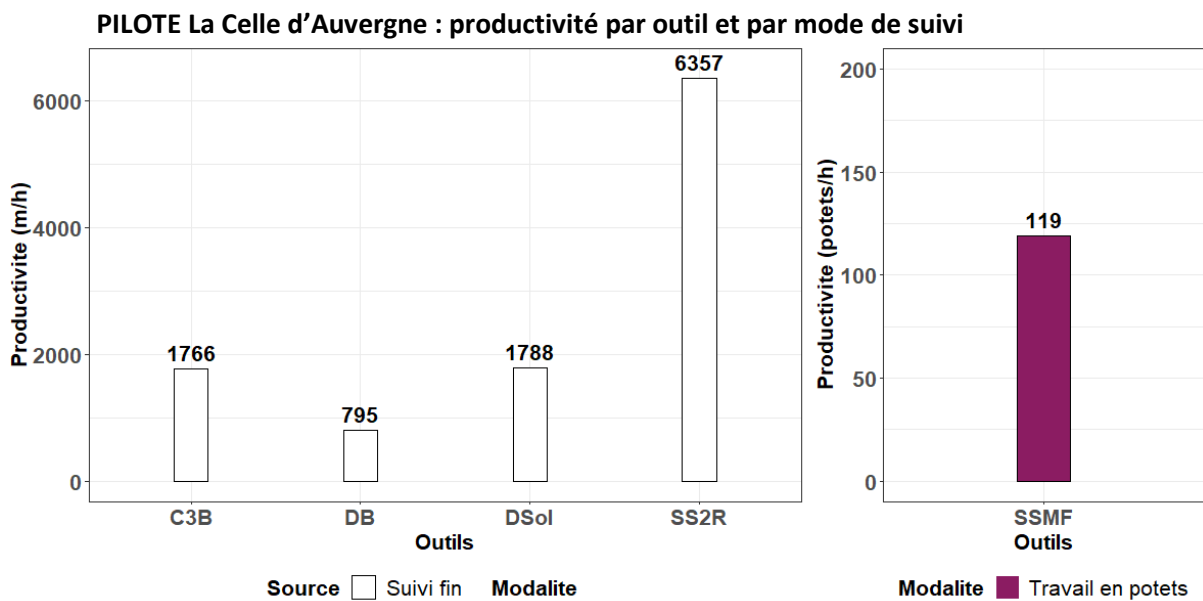
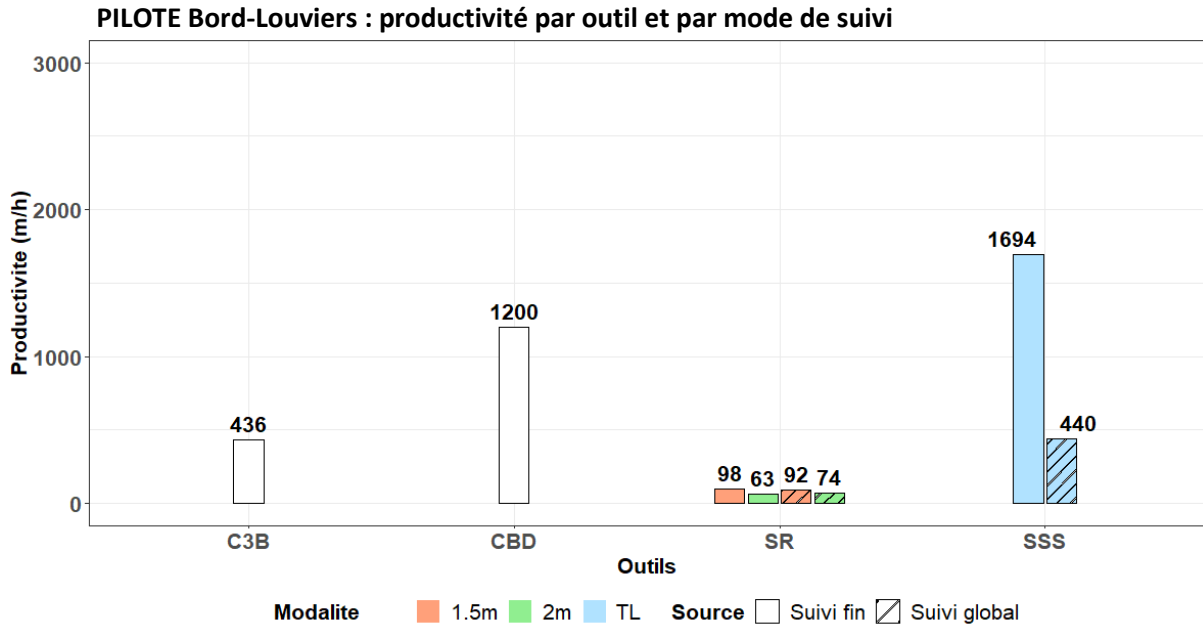


**Figure 43 : Productivité et coûts de la PMS pour les différentes modalités testées sur le dispositif de Bord-Louviers**

Cependant, différentes informations manquent aujourd'hui tels que les coûts horaires de chaque outil testé, les Mercuriales de prix n'étant pas forcément disponibles. De plus, les données des étapes de dégagements ne sont pas forcément disponibles non plus. Un travail de recensement des données et de récupération des coûts sera à réaliser.

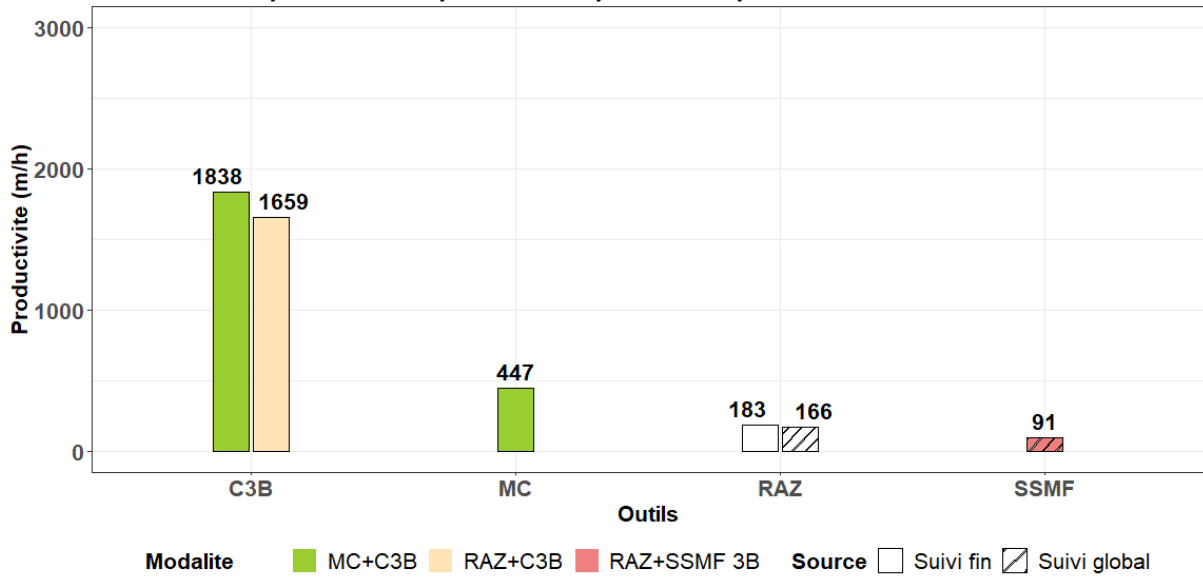
Figure 44 : Représentations graphiques de la productivité horaire (m/h) en fonction des outils et des modalités évaluées, pour chaque site du réseau PILOTE.

Les couleurs représentent les différentes modalités (travail sur 1.5m de large, sur 2m de large, technique locale, travail en placeaux, les assemblages d'outils), les barres hachurées représentent la productivité globale obtenue à partir du suivi global, les barres non hachurées représentent la productivité effective obtenue à partir du suivi fin.

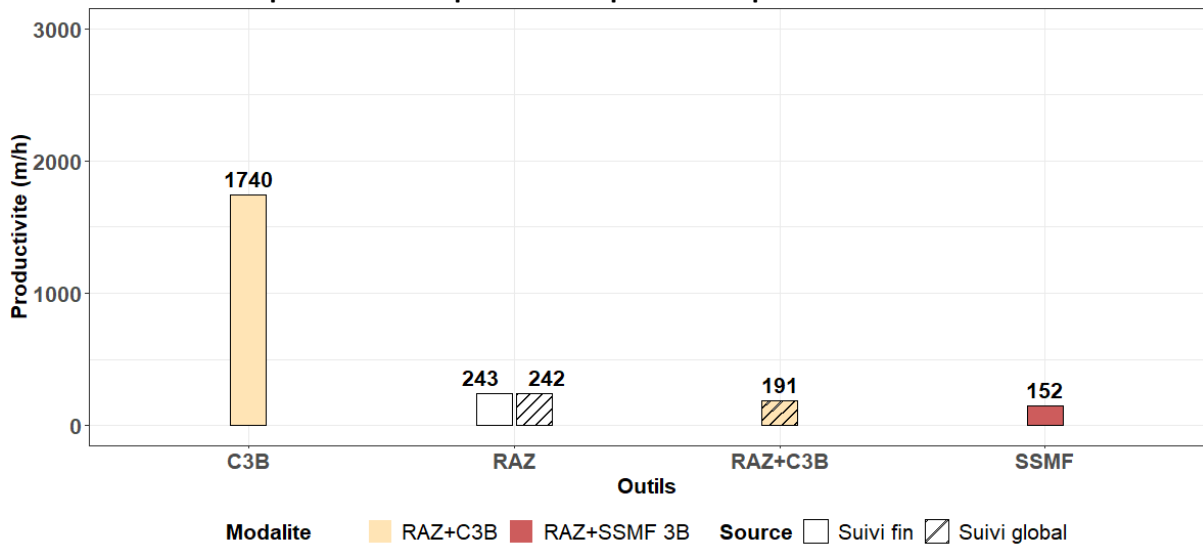




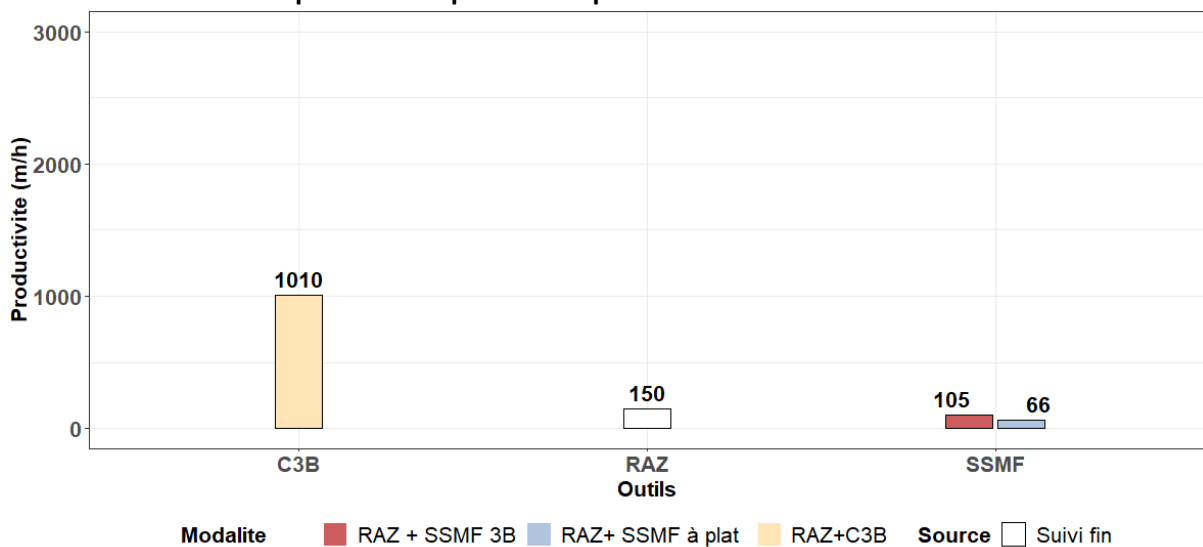
**PILOTE Chaux parcelle 212 : productivité par outil et par mode de suivi**



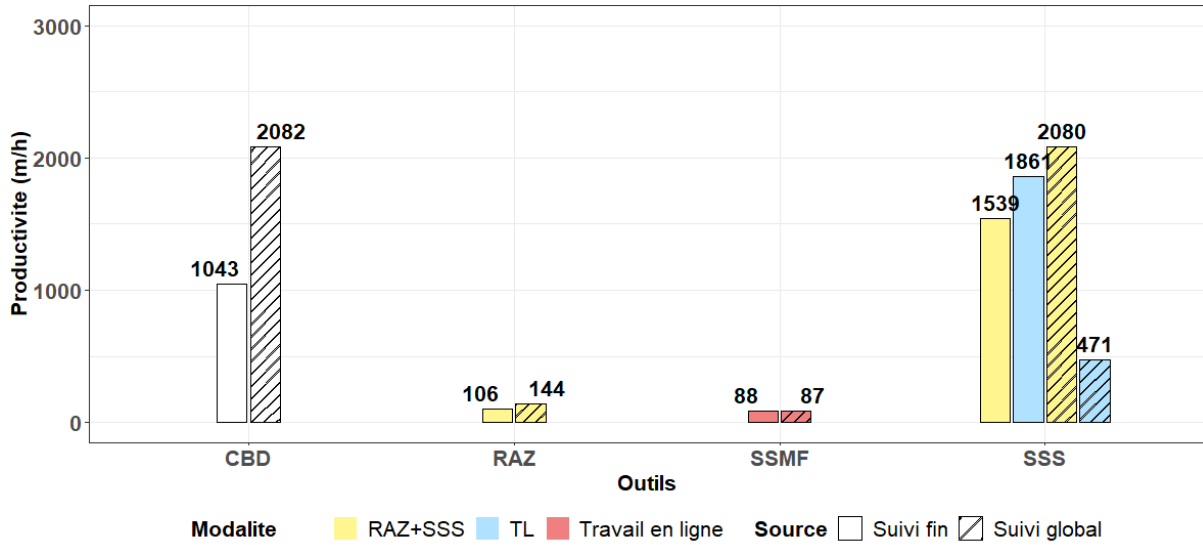
**PILOTE Chaux parcelle 1026 : productivité par outil et par mode de suivi**



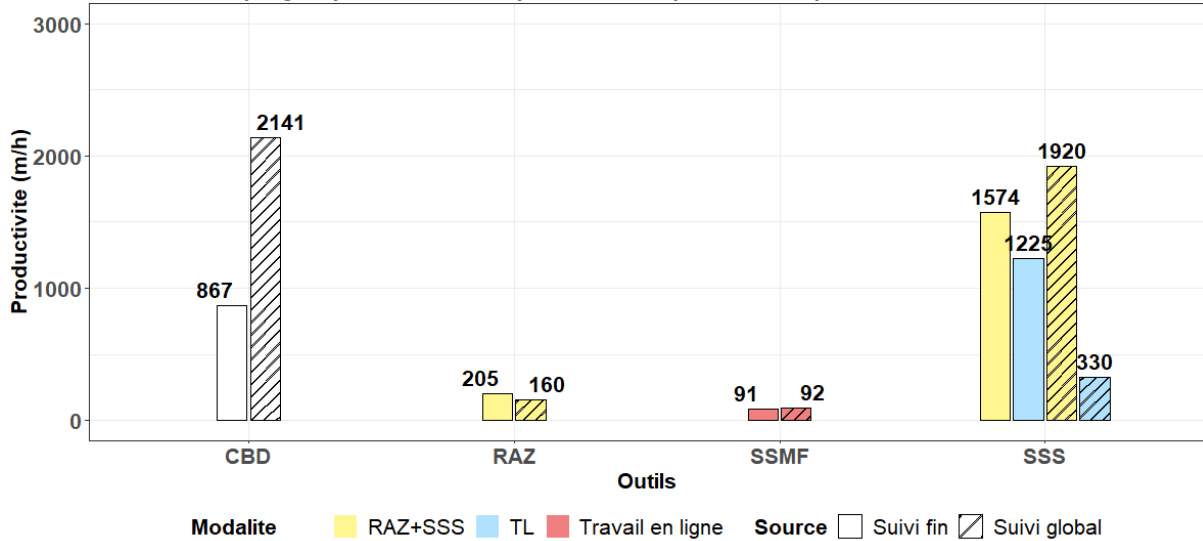
**PILOTE Chinon : productivité par outil et par mode de suivi**



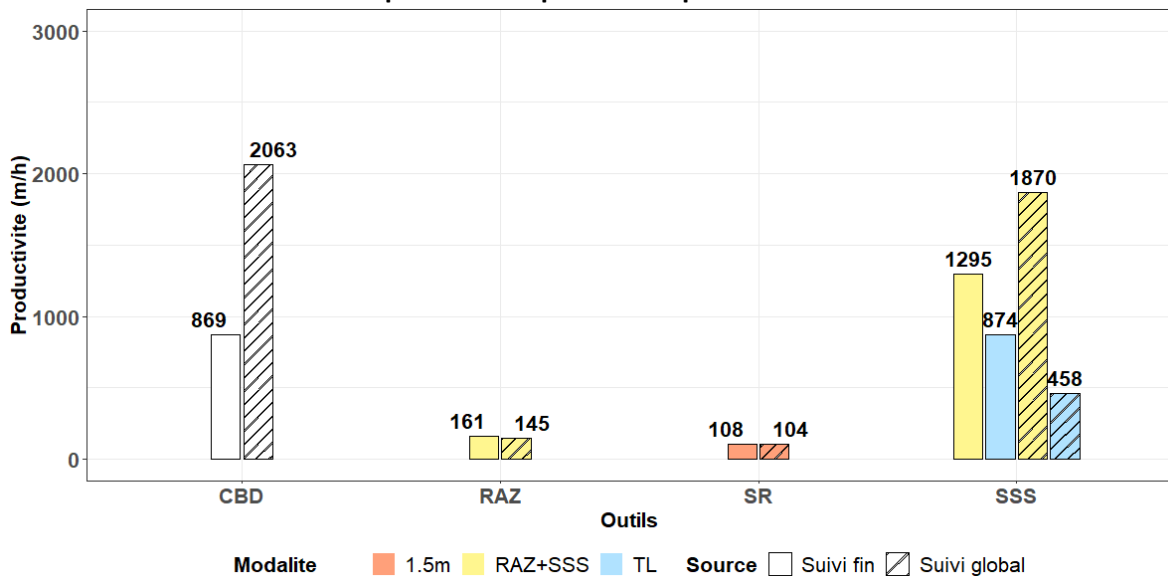
**PILOTE Compiègne parcelle 5251 : productivité par outil et par mode de suivi**



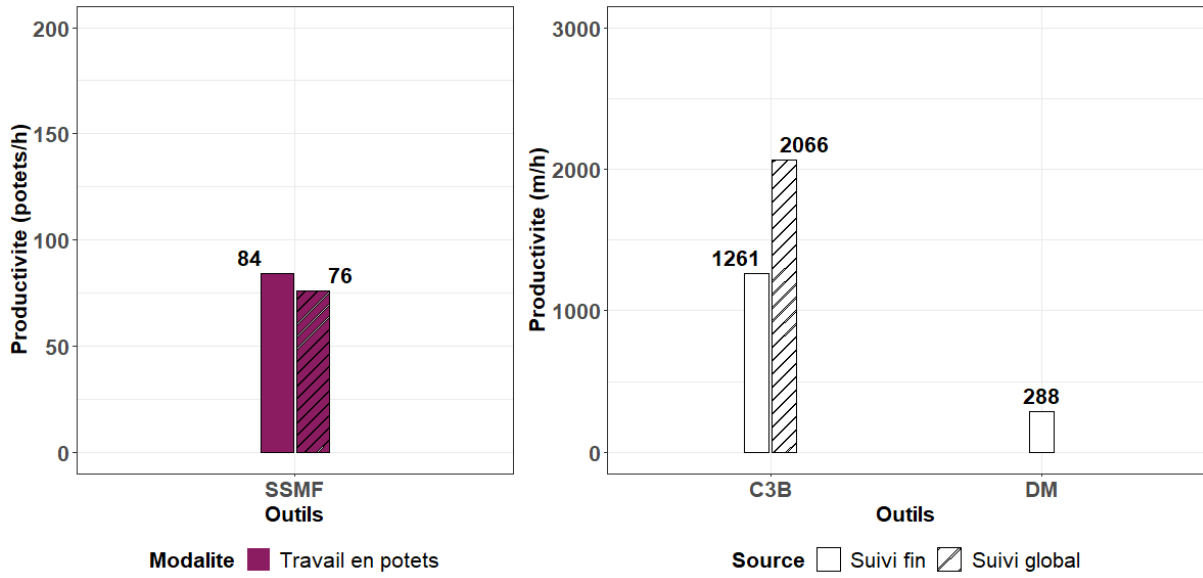
**PILOTE Compiègne parcelle 9072 : productivité par outil et par mode de suivi**



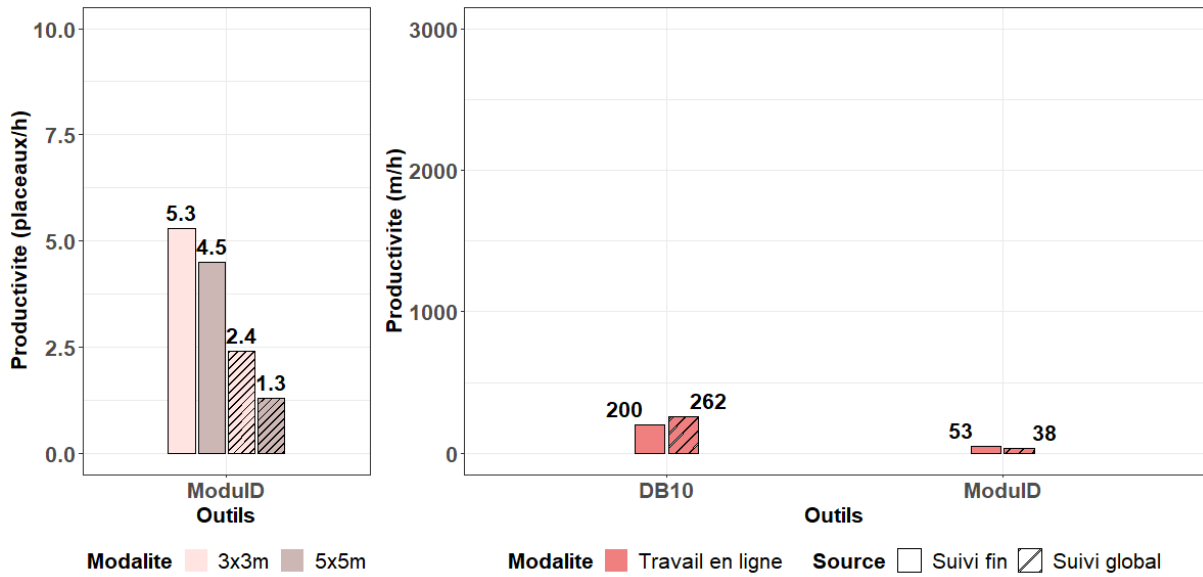
**PILOTE Fontainebleau : productivité par outil et par mode de suivi**



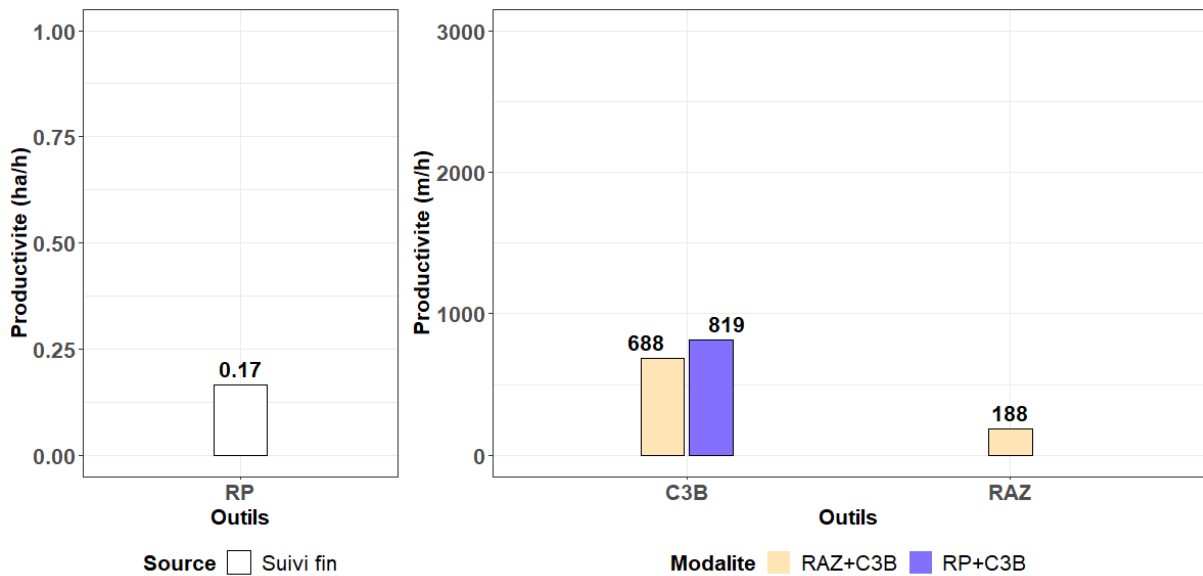
**PILOTE Frétigny : productivité par outil et par mode de suivi**



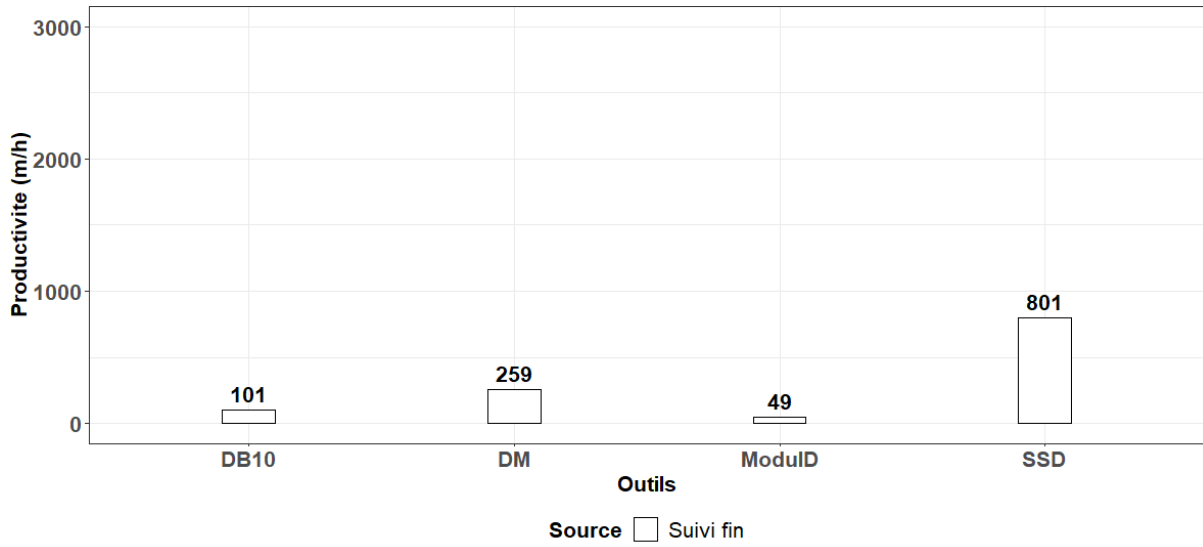
**PILOTE Hémilly : productivité par outil et par mode de suivi**



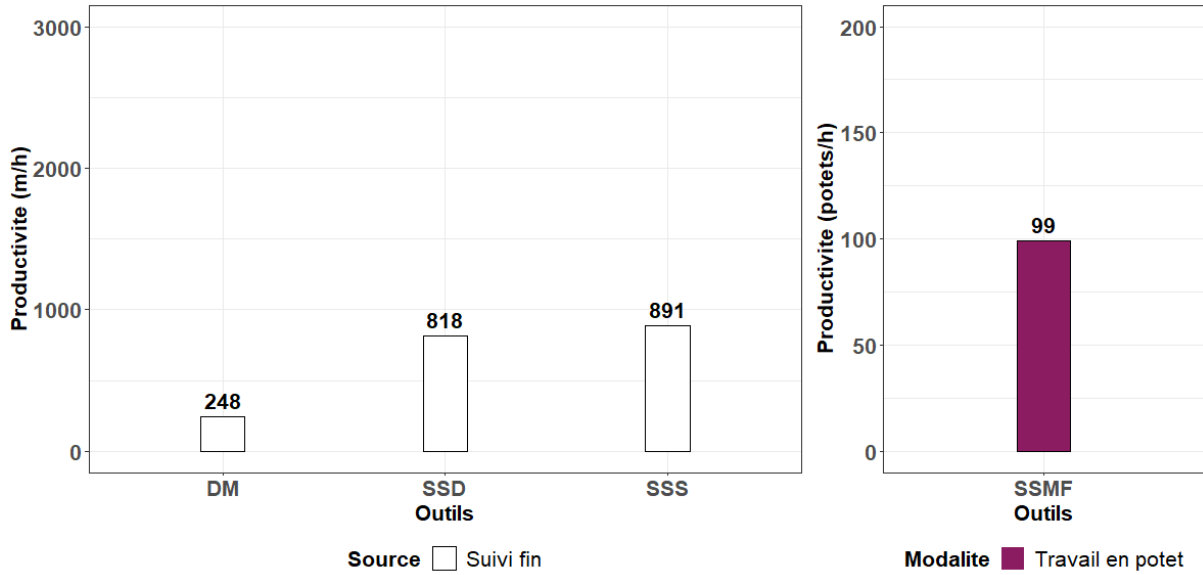
**PILOTE Rennes : productivité par outil et par mode de suivi**



**PILOTE Toul : productivité par outil et par mode de suivi**



**PILOTE Villiers-Nonains : productivité par outil et par mode de suivi**



## **Conclusion :**

Ce dossier a compilé de façon exhaustive les différentes données disponibles sur le réseau PILOTE pour le travail du sol et a mis en évidence les données manquantes actuellement. La diversité des données disponibles selon les dispositifs et outils rend difficile l'interprétation synthétique des résultats mais permet tout de même de soulever de grands résultats intéressants.

On peut notamment citer le rôle important du choix de l'itinéraire et de l'impact direct sur la productivité effective du travail. La préparation de terrain (broyage en plein, nettoyage, décapage) préalable au travail du sol permet de diminuer fortement le temps de travail du sol qui suit. Cependant, il reste à replacer ce résultat dans l'itinéraire global. En effet, lorsque l'itinéraire comprend un premier passage pour décaper ou nettoyer ou broyer le site puis un passage pour réaliser le travail du sol, la meilleure productivité pour le travail du sol par rapport à un itinéraire sans décapage est à rationaliser sur l'entièreté de l'itinéraire.

Il est aussi important de faire remarquer que l'effet chauffeur influence directement le résultat de productivité. On peut avoir une bonne productivité mais qui résulte d'un travail moins qualitatif ou encore une moins bonne productivité mais qui est due à un travail d'une personne débutante. On a cependant pu constater que lorsque le même chauffeur réalise le travail sur différents sites, on peut obtenir des résultats de productivité assez proches lorsque le travail est réalisé dans des conditions assez similaires (ex du DB10).

La variabilité entre sites est un effet connu et qu'il est difficile de standardiser, cependant réaliser le travail du sol dans de bonnes conditions d'humidité permet d'éviter d'entraîner de grandes pertes de productivité (ex : machine embourbée, pelle pas assez puissante sur sol trop sec) et de limiter les impacts sur les sols.

Dans le cas de certains outils (la Dent Maillard, Charrue bi-disques, le scarificateur réversible, sous-soleur simple et sous-soleur déporté) la diversité des sites ou encore des chauffeurs n'a pas eu d'influence sur les résultats de productivité effective, ce qui pourrait impliquer que la méthode de travail standardisée permet un résultat assez constant, quels que soient les sites et tout en restant dans de bonnes conditions de travail et dans des modalités semblables.

Pour compléter ces différents points, il sera intéressant d'évaluer ces résultats sur un itinéraire global, prenant en compte l'effet de la préparation sur la survie et croissance des plants. On a pu voir que la réalisation du travail en double passage, ou encore l'augmentation de la largeur de travail entraîne une diminution logique de la productivité, mais cependant, ce résultat est à relativiser avec les résultats de survie et de croissance des plants qui peuvent être meilleures pour ces modalités.

# Annexes

## ANNEXE 1 : PRESENTATION DES OUTILS UTILISES DANS LE RESEAU PILOTE

Les informations outils détaillées dans cette partie sont issues des données du constructeur (si présentes) ou des fiches techniques existantes.

### **Le Bident Maillard (outil Maillard) :**

Le Bident Maillard est un outil monté sur pelle mécanique de 20 à 24 tonnes. Il est constitué de deux dents de sous-solage de 1 m de hauteur, espacées de 1 m l'une de l'autre. Chaque dent est biseautée à l'avant et munie de trois paires d'ailettes de 18 cm de longueur. Il est aussi constitué d'un peigne désherbeur de 1.80 m de largeur, à 12 dents.

Le travail attendu avec cet outil est la décompaction et fracturation des sols jusqu'à une profondeur de plus de 70 cm, sur une largeur minimale de 1.5 m. Il permet également de déblayer le sol des obstacles et de la végétation concurrente.

Nb : pour le dispositif de Villers-Nonains, il est précisé que les 3 ailettes latérales mesurées 10, 16 et 17 cm, avec une largeur moyenne de travail de 1.57m.

*Pour plus d'informations : fiche technique<sup>2</sup>, des vidéos de l'outil en action<sup>3</sup>, des photos<sup>4</sup>*

### **La charrue bidisque motorisée (outil Alliance Forêt Bois) :**

La charrue bidisque est un outil tracté, par un tracteur. Elle est constituée d'un puissant rouleau motorisé, de deux disques motorisés à l'avant de plus de 1 m de diamètre, ainsi que d'un distributeur motorisé de micro-granulés.

Le travail attendu avec cet outil est le labour du sol sur 80 cm de largeur et 35 cm de profondeur et un possible amendement, puis un emiettage et tassement du sol.

*Pour plus d'informations : des vidéos de l'outil en action<sup>3</sup>,  
<https://www.allianceforetsbois.fr/actualites/video/charrue-bidisque-motorisee/>*

### **La charrue Deltasol (outil Alliance Forêt Bois) :**

La charrue Deltasol est un outil tracté, par un tracteur. Elle est constituée d'un rouleau tasseur émietteur motorisé, de deux disques de 800 mm en opposition, ainsi que d'une dent de sous-solage de 1.2 m de longueur.

Le travail attendu avec cet outil est le décompactage du sol sur 70 cm de profondeur, labour et tassement du sol. Le travail est réalisé en un seul passage.

NB : Pour le dispositif de La Celle d'Auvergne (seul dispositif où l'outil est utilisé), il est précisé que le poids total de la charrue était de 3.24 tonnes (dont 0.3 tonnes de blindage), une charrue de 1.93 m de large et 3.2 de long, 7 disques émietteur de 74 cm de diamètre pour un total de 3.14 tonnes (avec les disques billonneurs), 1 dent de sous-solage de 135 cm et de 0.7 tonnes, pour une largeur moyenne de travail de 1.55 m pour le billon et de 1m pour l'emiettage.

*Pour plus d'informations : <https://www.allianceforetsbois.fr/actualites/video/charrue-deltasol-outil-innovant-de-preparation-sol-plantation/>*

---

<sup>2</sup> <https://www6.inrae.fr/renfor/Ressources/Fiches-techniques>

<sup>3</sup> <https://agroparistech.mediasite.com/Mediasite/Showcase/renfor/>

<sup>4</sup> <https://poleimage.agroparistech.fr/ajaris/category/786>

**Le Culti-3B (outil Grenier-Franco, gamme Becker) :**

Le Culti-3B est un outil tracté, par un tracteur de 6 à 9 tonnes, d'une puissance de 140 à 200 ch. Il est constitué de deux paires de disques (Ø 810 mm) indépendants et non motorisés. Il est aussi constitué d'une dent de sous solage à l'avant, haute de 87 cm, rétractable, avec deux ailettes triangulaires biseautées de part et d'autre de la dent, à la même hauteur. L'outil pèse 2.2 tonnes, pour une longueur de 3.50 m et une largeur de 2.40 m.





Le travail attendu avec cet outil est la décompaction et fracturation des sols à une profondeur moyenne de 60 cm, et jusqu'à 85 cm (action de la dent de sous solage), ainsi que la réalisation d'un billon de 20 à 50 cm au-dessus du sol (action des disques).

Il s'utilise après une préparation (à minima broyage) de la parcelle car il gère mal les rémanents et la végétation trop robuste.

NB : Pour le dispositif de Frétigny, il est précisé que les deux paires de disques étaient différentes, avec une paire en « test », pour une largeur moyenne de travail de 1.2 à 1.5m. Pour le dispositif de la Celle d'Auvergne, il est précisé un poids total de 2.6 tonnes, les 4 disques billonneurs de 81cm de diamètre sont espacés de 1.6m, pour réaliser un billon de hauteur 40cm.

Pour plus d'informations : une fiche technique<sup>2</sup>, des vidéos de l'outil en action<sup>3</sup>, des photos<sup>4</sup> un article<sup>5</sup>, <https://www.kirpy.com/becker/culti-3b/>

*Tableau 11 : Représentation photographiques des outils présentés*

Bident Maillard	Charrue Bidisques motorisés	Charrue Deltasol	Culti-3B
			
© N. Dumas, INRAE	© E. Ulrich, ONF	© C.Vidal, CNPF-IDF	© L. Wehrten, INRAE

**Le DB10 (outil Valenzisi) :**

Le DB10 est un outil monté sur pelle mécanique. Il est constitué d'un peigne intégré, d'une dent de sous-solage, ainsi que d'une paire de disque.

Le travail attendu avec cet outil est le décapage de la végétation (peigne) puis une décompaction du sol jusqu'à 60 cm de profondeur environ, ainsi que la création d'un billon (paire de disques).

Pour plus d'informations : Page Facebook SARL Antoni Valenzisi, des vidéos de l'outil en action<sup>3</sup>, des photos<sup>4</sup>

**La dent Bertrandie (outil Bertrandie) :**

La dent Bertrandie est un outil monté sur pelle mécanique de 25 tonnes. Il est constitué d'une dent de dessouchage, de 1.30 m de longueur.

Le travail attendu avec cet outil est une décompaction du sol en profondeur, même si l'outil n'est pas prévu pour. L'entrepreneur l'utilise pour le dessouchage et l'andainage.

<sup>5</sup> <https://www.onf.fr/+145::rendez-vous-techniques-de-lonf-no-43.html> RenDez-Vous Techniques 2014 No.43 pp.11-21



NB : Pour le dispositif de La Celle d'Auvergne (seul dispositif où l'outil est utilisé), il est précisé que l'outil pèse 1.5 tonnes, 1 dent de sous solage de 120cm et un râteau large de 2.5m avec 6 dents de 110 cm.

### **Le Meri Crusher :**

Le Meri Crusher est un outil tracté, par un tracteur. Il est constitué d'un rouleau motorisé  
Le travail attendu avec cet outil est un broyage fin jusqu'à 30 cm de profondeur.

NB : Pour le dispositif de Chaux (seul dispositif où l'outil est présent), il est précisé que c'est le MERI MJ-2.3 DT, qu'il pesait 1.519 tonnes, pour une largeur de 2.7m et une largeur moyenne de travail de 2.3m.

Pour plus d'informations : <https://www.mericrusher.com/en/> ,  
[https://www.mericrusher.com/images/MJ-23ST\\_DT-TX3-eng.pdf](https://www.mericrusher.com/images/MJ-23ST_DT-TX3-eng.pdf)

### **Le ModulD (outil Becker)**





Le ModulD est un outil monté sur mini-pelle. Il est constitué d'une dent de sous-solage de 70 cm de hauteur, biseauté à l'avant, de deux ailettes triangulaires biseautées, situées de part et d'autre du corps vertical, à hauteur différentes. A la base verticale de la dent de sous-solage est disposé un obus central de sous-solage, pointu à son extrémité. Il est aussi constitué d'un peigne désherbeur de 60 cm de largeur, à 7 dents, échangeable.

Le travail attendu avec cet outil est la décompaction et la fracturation des sols jusqu'à une profondeur de 65 cm. Il permet également de déblayer le sol des obstacles et d'éliminer la végétation concurrente.

De nombreuses déclinaisons du modulD existent en terme de dimensionnement.

Pour plus d'informations : <https://www.youtube.com/watch?v=t2L8q9HCLSO> , des vidéos de l'outil en action<sup>3</sup>, des photos<sup>4</sup>

*Tableau 12 : Représentation photographiques des outils présentés (2)*

<u>DB10</u>	<u>Meri Crusher</u>	<u>ModulD</u>	<u>Dent Bertrandie</u>
 © N. Dumas, INRAE	 © L. Wehrlen, INRAE	 © M. Puyal, INRAE	 © C. Vidal, CNPF-IDF

### **Le râteau Fléco ou râteau Pompéi (outil ?)**

Le râteau Pompéi est un outil monté sur pelle mécanique. Il est constitué d'un râteau de 3 m de largeur, équipé de dents.

Le travail attendu avec cet outil est l'arrachage de la végétation et la constitution d'un andain.

Pour plus d'informations : <https://www.youtube.com/watch?v=DpWUzOuHIVM>, des vidéos de l'outil en action<sup>3</sup>, des photos<sup>4</sup>

**Le Razherb (outil Becker) :**

Le razherb est un outil monté sur mini-pelle de 2.8 à 6 tonnes. Il est constitué d'un godet au fond plat de 80 cm de large, qui au fond est traversé par 4 chaînes pour éviter l'accumulation de débris.

Le travail attendu avec cet outil est d'éliminer la strate de végétation herbacée en rasant le sol sous la partie racinaire de la couche végétale.

NB : Pour le dispositif de Chaux, il est précisé une largeur moyenne de travail de 1.5 m.

Pour plus d'informations : des vidéos de l'outil en action<sup>3</sup>, des photos<sup>4</sup>

<https://www.regiowood2.info/sites/default/files/2019-11/Fiche%20pedagogique%20plantation%20molinie.pdf>

**Le scarificateur réversible (outil Becker) :**

Le scarificateur réversible est un outil monté sur mini-pelle. Il est constitué de trois dents principales de 40 cm terminées par un obus de sous-solage, ainsi que de deux dents secondaires intercalées de 20 cm.

Le travail attendu avec cet outil est d'éliminer la végétation par arrachage, puis de réaliser un travail du sol sur 30 cm de profondeur par griffage ou par bêchage.

Pour plus d'informations : une fiche technique<sup>2</sup>, des vidéos de l'outil en action<sup>3</sup>, des photos<sup>4</sup>,

<https://www.kirpy.com/becker/scarificateur-reversible/>

**Le sous-soleur déporté (outil Kirpy-Grenier Franco) :**

Le sous-soleur déporté est un outil tracté, par un tracteur. Il est constitué d'une dent de sous-solage de 80 cm de longueur, décalée de l'axe du tracteur de 20 cm, avec ailettes.

Le travail attendu avec cet outil est la décompaction du sol à 40 cm et jusqu'à 70 cm de profondeur. Le travail est réalisé en aller-retour.

NB : Pour le dispositif de Villiers-Nonains, il est précisé que le SSD pesait 1 tonne, avec 2 ailettes latérales de 20 cm, pour une largeur moyenne de travail de 0.525 m.

Pour plus d'informations : des vidéos de l'outil en action<sup>3</sup>, des photos<sup>4</sup>

Tableau 13 : Représentation photographiques des outils présentés (3)

<b>Râteau Pompéi / Fléco</b>	<b>Razherb</b>	<b>Scarificateur réversible</b>	<b>Sous-Soleur déportée</b>
 © L. Wehrlen, INRAE	 © L. Wehrlen, INRAE	 © L. Wehrlen, INRAE	 © N. Dumas, INRAE

**Le sous-soleur simple (outil Kirpy-Grenier Franco) :**

Le sous-soleur simple est un outil tracté, par un tracteur. Il est constitué d'une dent de sous-solage de 80 cm de longueur avec ailettes.

Le travail attendu avec cet outil est la décompaction du sol à 40 cm et jusqu'à 70 cm de profondeur, sur un sillon de 24 cm environ.

NB : Pour le dispositif de Villiers-Nonains, il est précisé que le SSS pesait 1 tonne, avec 2 ailettes latérales de 20 cm, pour une largeur moyenne de travail de 0.2375 m.

Pour plus d'informations : <https://www.kirpy.com/grenier-franco/sous-soleuses-simples/>

**Le sous-soleur 2 rangs ou le sous-soleur Bertrandie (outil Bertrandie) :**

Le sous-soleur 2 rangs est un outil tracté, par un tracteur. Il est constitué de 2 dents de type ripper espacées de 3.2 m.

Le travail attendu avec cet outil est une décompaction du sol en profondeur sur 2 lignes à planter en un seul passage.

NB : Pour le dispositif de La Celle d’Auvergne (seul dispositif où l’outil est utilisé), le poids total est de 1.9 tonnes, une charrue de 1.5 tonnes, deux dents de sous-solage de longueur 55 cm, de largeur 20 cm, d’épaisseur 6 cm, espacées de 3.2 m, pour un poids de 0.4 tonnes, largeur de l’outil de 3.4 m et longueur de 1m.

Pour plus d’informations : article sur Fransylva – AURA, La Forêt Privée n°12 - mars / avril 2019

**Le Sous-Soleur Multifonction (outil) :**




Le Sous-Soleur Multifonction est un outil monté sur mini-pelle de 2.8 à 6 tonnes. Il est constitué d’une dent de sous-solage de 60 cm de hauteur, biseauté à l’avant, avec deux ailettes triangulaires biseautées, situées de part et d’autre du corps vertical, à hauteur différentes. A la base verticale de la dent de sous-solage est disposé un obus central de sous-solage, pointu à son extrémité. Il est aussi constitué d’un peigne désherbeur de 60 cm de largeur, à 7 dents.

Le travail attendu avec cet outil est la décompaction et la fracturation des sols jusqu’à une profondeur de 60 cm. Il permet également de déblayer le sol des obstacles et d’éliminer la végétation concurrente.

NB : Pour le dispositif de Villiers-Nonains, il est précisé que les 2 ailettes latérales mesuraient 12 cm, pour une largeur moyenne de travail de 1 m. Pour le dispositif de la Celle d’Auvergne, il est précisé un poids total de 0.7 tonnes (dont 0.3 tonnes pour le sabot franchisseur) dont un ergot de 0.1 m et un peigne de largeur 0.64 m avec 5 dents de 10 cm.

Pour plus d’informations : une fiche technique<sup>2</sup>, des vidéos de l’outil en action<sup>3</sup>, des photos<sup>4</sup>,  
<https://www.kirpy.com/becker/sous-soleur-multifonctions/>,  
<https://www.regiowood2.info/sites/default/files/2019-11/Fiche%20pedagogique%20plantation%20molinie.pdf>

*Tableau 14 : Représentation photographiques des outils présentés (4)*

Sous-Soleur simple	Sous-Soleur 2 rangs/ Bertrandie	Sous-Soleur Multifonction
 <p data-bbox="284 1778 453 1800">© N. Dumas, INRAE</p>	 <p data-bbox="676 1771 858 1794">© C. Vidal, CNPF-IDF</p>	 <p data-bbox="1070 1809 1257 1832">© L. Wehrten, INRAE</p>

## ANNEXE 2 : MODELE DE FICHE NAVETTE POUR LE SUIVI GLOBAL

### Projet PILOTE

SUIVI DE CHANTIER DE REBOISEMENT - TRAVAUX PREPARATOIRES A LA PLANTATION

Date : \_\_\_\_\_ **Nom de la forêt :** \_\_\_\_\_  
 Responsable du site/tel : \_\_\_\_\_ **N° parcelle :** \_\_\_\_\_  
 Organisme : \_\_\_\_\_

**1 - FICHE LOCALISATION ET DESCRIPTIF DU CHANTIER**

Coordonnées GPS (Lambert II étendu) :			<b>Peuplement à installer :</b> Essence(s) :  Distance entre lignes : Distance sur ligne : Densité : Type de plant : Taille des plants :
<b>X :</b>		<b>Y :</b>	
N°Modalité	Nom modalité	Couleur associée	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
Matérialisation des modalités = <i>ex : 4 piquets d'angles</i>			Renseignements globaux =
Matérialisation des débuts/fins lignes =			Obstacles, précautions à prendre =

**Plan au 1/25000 : Surface totale parcelle :**

**Plan des modalités : Surface de l'expérimentation :**

Projet PILOTE						
SUIVI DE CHANTIER DE REBOISEMENT - TRAVAUX PREPARATOIRES A LA PLANTATION						
2 - RECAPITULATIF DES MODALITES ETUDIEES						
Fin de la coupe rase et du débardage		SITE : FONTAINEBLEAU - parcelle 565 (exemple)				
	N°MODALITE NOM SURFACE (ha)	Modalité 1 TEMOIN 0,25	Modalité 2 LOCALE 0,25	Modalité 3 RAZHERB 1	Modalité 4 PH 1	Modalité 5 CHARRUE 1,33
Suivi global	Phases de préparation		Broyage en plein	Broyage en plein	Broyage en plein	Broyage en plein
	Suivi fin	Phases de travail du sol			Razherb	Pioche-Herse
				Sous solage sur ligne	Sous solage sur ligne	
Suivi fin	Phase de plantation		Manuel coup pioche	Manuel coup pioche	Manuel coup pioche	Manuel coup pioche
Suivi global	Phase d'entretiens					
		Sur ligne :	?	?	?	?
		Entre lignes :		?	?	

**Projet PILOTE**  
**SUIVI DE CHANTIER DE REBOISEMENT - TRAVAUX PREPARATOIRES A LA PLANTATION**

Date : \_\_\_\_\_  
 Rédacteur : \_\_\_\_\_  
 Organisme : \_\_\_\_\_

**3 - SUIVI GLOBAL - MODALITE n° =**

PHASE	OPERATION	TYPE SUIVI
Préparation		suivi global
Travail du sol		suivi fin
Plantation		suivi fin
Entretiens sur ligne		suivi global
Entretiens entre lignes		

**PREPARATION (1)**

*Nature opération :* \_\_\_\_\_

*Date :* \_\_\_\_\_

*Matériel utilisé (outil, puissance, marque, modèle):* \_\_\_\_\_

*Consommation :* \_\_\_\_\_

*Durée du chantier :* \_\_\_\_\_

*Nombre d'opérateurs :* \_\_\_\_\_

*Durée totale du chantier (durée du chantier x nb opérateurs) :* \_\_\_\_\_

*Remarques :* \_\_\_\_\_

**PREPARATION (2)**

*Nature opération* \_\_\_\_\_

*Date* \_\_\_\_\_

*Matériel utilisé (outil, puissance, marque, modèle):* \_\_\_\_\_

*Consommation :* \_\_\_\_\_

*Durée du chantier :* \_\_\_\_\_

*Nombre d'opérateurs :* \_\_\_\_\_

*Durée totale du chantier (durée du chantier x nb opérateurs) :* \_\_\_\_\_

*Remarques :* \_\_\_\_\_

**PLANTATION**

Essence : .....  
Distance entre lignes .....  
Distance sur ligne .....  
Densité .....  
Type de plant .....  
Taille des plants .....

Type de plantation (exigence minimale) : .....

Matériel utilisé : .....

Durée du chantier : .....

Nombre de planteurs : .....

Durée totale de plantation (durée du chantier x nb planteurs) : .....

Remarques : .....

**ENTRETIEN SUR LIGNE**

Nature opération : .....

Date : .....

Matériel utilisé (outil, puissance, marque, modèle): .....

Consommation : .....

Durée du chantier : .....

Nombre d'opérateurs : .....

Durée totale du chantier (durée du chantier x nb opérateurs) : .....

Remarques : .....

**ENTRETIEN ENTRE LIGNES**

Nature opération : .....

Date : .....

Matériel utilisé (outil, puissance, marque, modèle): .....

Consommation : .....

Durée du chantier : .....

Nombre d'opérateurs : .....

Durée totale du chantier (durée du chantier x nb opérateurs) : .....

Remarques : .....



**ANNEXE 3 : FICHE TERRAIN DE SUIVI FIN DE LA PHASE DE TRAVAIL DE SOL**

**Projet PILOTE**  
SUIVI DE CHANTIER DE REBOISEMENT - TRAVAUX PREPARATOIRES A LA PLANTATION

**4 - Suivi fin de la phase de travail du sol (Fiche terrain)**

Date : \_\_\_\_\_  
 Responsable du suivi : \_\_\_\_\_  
 Organisme : \_\_\_\_\_

Opérateur : \_\_\_\_\_  
 Matériel : \_\_\_\_\_  
 Durée chronométrage : 1 heure **Cycle = 1 ligne**

<b>Temps</b> <small>(min,sec)</small>	<b>Phase</b> <small>(lettre)</small>	<b>Observations</b>
0-		

<b>Temps</b> <small>(min,sec)</small>	<b>Phase</b> <small>(lettre)</small>	<b>Observations</b>
0-		

Phase DEPCHA : déplacement sur le chantier (mise en position)  
 Phase RETOUR : manœuvre en bout de parcelle, retournement  
 Phase DEPPOT\* : déplacement entre potets  
 Phase DECAP\* : décapement végétation  
 Phase SOL : travail du sol proprement dit  
 Phase STOPSOL : arrêt du travail du sol : évitement de souche, d'obstacles  
 Phase NETTOI : arrêt du travail du sol : nettoyage de l'outil (végétation, terre)  
 Phase ENT : maintenance/entretien (plein, graissage)  
 Phase INC : incident/panne  
 Phase XXX : autre à préciser

\*phases ne concernant que les outils montés sur mini pelle (Razherb, Pioche-herse, Scarificateur réversible, Sous soleur multifonctions)

### ANNEXE 4 : MODELE DE CARNET DE BORD

PROJET PILOTE																		
Suivi de chantier de reboisement - Travaux préparatoires à la plantation																		
CARNET DE BORD OPERATEUR																		
Feuille remplie tous les jours par le pilote de la machine - Une feuille par chantier et par engin																		
Nom du chantier :						Outil			Nom du pilote de la machine N° tél portable									
Localisation :						Type d'engin/outil			Nom du contact à l'ONF N° tél portable									
						Marque												
						Modèle												
Pas besoin de remplir les cellules brunes : calcul automatisé (sauf si c'est pour l'autocontrôle du conducteur pour éviter les erreurs de saisie)																		
Homme (merci de préciser le temps avec une précision au 1/4 d'heure)											Machines			Productions				Divers (à préciser)
Date	Heure d'arrivée sur chantier	Heure départ chantier	Différence heure de départ - heure d'arrivée	Temps pause	Temps de travail productif	Temps de travail auxiliaire			Temps autre	à préciser SVP	Horamètre engin		Conso. en carburant (en litres)	Km en début de journée (compteur kilométrique)	Km en fin de journée (compteur kilométrique)	Km parcourus dans la journée	Nombre de lignes travaillées OU nombre de potets réalisés	Par exemple préciser chaque jour le nombre de passages sur les lignes travaillées par le broyeur ou préparées par l'engin
						Temps de préparation (repérage..)	Temps d'entretien	Temps de réparations			Matin	Soir						
10/01/2013	8:00	17:30	9:30	1:30	6:00	0:15	0:30	0:45	0:30	visite du technicien	1750,2	1756,7	6,5	55	67	12	30	Culti 3B : 12 lignes préparées en un seul passage et 8 avec 2 passages

ANNEXE 5 : FICHE MATERIEL

FICHE MATERIEL	
date _____	
<p style="background-color: yellow; display: inline-block; padding: 2px;">A réadapter aux machines suivies :</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Caractéristique mini pelle + caractéristiques outil becker</li> <li>- Caractéristique tracteur + caractéristique outil (culti 38, charrue bi disques)</li> </ul> </div>
<p><b>Caractéristiques générales du porte-outil</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Longueur : m</li> <li>- Largeur : m</li> <li>- Hauteur : m</li> <li>- Empattement : m</li> <li>- Garde au sol : m</li> <li>- Masse à vide : kg</li> </ul>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p><b>Nom de la machine</b></p> <p>- Marque / Modèle :</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p><b>Fonction de la machine</b></p> <p> <input type="checkbox"/> Abatteuse    <input type="checkbox"/> Abatteuse-ébrancheuse-billonneuse  <input type="checkbox"/> Porteur    <input type="checkbox"/> Débusqueur    <input type="checkbox"/> Autres :                 </p> </div>
<p><b>Organes de roulement</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Motricité : <input type="checkbox"/> 4*4, <input type="checkbox"/> 6*6, <input type="checkbox"/> 8*8, <input type="checkbox"/> chenilles, <input type="checkbox"/> Autre (à préciser) :</li> <li>- Pneumatiques (dimensions) : AV et AR</li> <li>- Chenilles (type et dimensions) :</li> </ul>	<p><b>Moteur</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cylindrée :</li> <li>- Nombre de cylindres :</li> <li>- Marque :</li> <li>- Puissance : kW à tr/min</li> <li>- Couple : Nm à tr/min</li> <li>- Capacité du réservoir :</li> </ul>
<p><b>Equipement informatique</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Informatique embarquée : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</li> <li>- Système informatique :</li> </ul>	<p><b>Equipement hydraulique</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombre de pompes :</li> <li>- Pompe 1 : Cylindrée cm<sup>3</sup>, Débit l/min, Pression bar</li> <li>- Pompe 2 : Cylindrée cm<sup>3</sup>, Débit l/min, Pression bar</li> </ul>
<p><b>Pour la fonction abattage : Outil de coupe</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Marque et modèle :</li> <li>- Organe de coupe :</li> <li>- Dimensions : Hauteur cm, Largeur ouverte cm</li> <li>- Masse : kg</li> <li>- Diamètre maxi de coupe : cm</li> <li>- Diamètre maxi d'ébranchage : cm</li> <li>- Mécanisme d'alimentation :</li> <li>- Nombre de couteaux : fixes mobiles</li> <li>- Fonction acculumation : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</li> <li>- Système de mesure : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</li> <li>- Hydraulique nécessaire : Pression : bar Débit : l/min</li> </ul>	<p><b>Transmissions</b></p> <p> <input type="checkbox"/> Mécanique    <input type="checkbox"/> Hydrostatique    <input type="checkbox"/> Hydrocinétique                 </p> <p><b>Pour la fonction débardage</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Plateau : charge utile : kg</li> <li>                  capacité de charge en volume : m<sup>3</sup></li> <li>                  longueur plateau : m</li> <li>- Pince de débardage : ouverture m<sup>2</sup></li> </ul>
<p><b>Grue</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Marque et modèle :</li> <li>- Portée : m</li> <li>- Couple de levage : kN.m</li> <li>- Inclinable (Tilt) : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</li> <li>- Pression : bar</li> </ul> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px; width: fit-content;"> <p>Photo détaillée</p> </div>	<p><b>Options (à détailler)</b></p> <div style="border: 1px solid black; height: 80px; margin-top: 10px; width: 100%;"></div>
<p><b>Domaine d'utilisation et limites d'utilisation (peuplements, pentes, sol...)</b></p>	
<p><b>Prix de la machine et des principaux consommables (avec durée de vie en heures)</b></p>	
<p><b>Coordonnées de constructeur (porte outil et outil si nécessaire)</b></p>	
<p><b>Coordonnées du distributeur (porte outil et outil si nécessaire)</b></p>	