

# Le travail du sol dans les systèmes mécanisés tropicaux



CIRAD

**Actes du colloque**  
11-12 septembre 1996  
Montpellier, France

Illustration de couverture :  
Travail du sol sur canne à sucre à la Réunion – B. Siegmund

© CIRAD

# Le travail du sol dans les systèmes mécanisés tropicaux

**Roland PIROT, Sylvain PERRET, Hubert MANICHON**

*Editeurs scientifiques*

**Actes du colloque**

11-12 septembre 1996

Montpellier, France

---

Pirot R., Perret S., Manichon H. (éds.), 1997. Le travail du sol dans les systèmes mécanisés tropicaux.  
Actes du colloque, 11-12 septembre 1996, Montpellier, France.  
Montpellier, France, Cirad-Sar, collection Colloques, 160 p.

---

Responsable d'édition : Christine Rawski (Cirad)  
Révision et correction : Chantal Mazzela-Second  
Mise en pages : Louma productions

# Sommaire

## INTRODUCTION

La préparation mécanisée des sols : quelles problématiques de recherche ? Sylvain Perret ..... 5

## THÈME 1. Les méthodes de mesure de performances des matériels agricoles

Mesures de performances des équipements agricoles au champ. Roland Pirot ..... 11

Méthode de mesure des paramètres énergétiques des outils de travail du sol.  
El Hassan Bourarach, Hermann Knechtges ..... 19

## THÈME 2. Les méthodes de caractérisation du profil cultural

Utilisation de quelques outils portables pour évaluer le fonctionnement hydrique  
d'une parcelle cultivée en milieu tropical. J.L. Chopart ..... 27

Approche morphologique de la structure du sol par des méthodes physiques.  
Jean-François Billot ..... 35

Influence de trois systèmes de mise en valeur sur l'évolution du profil cultural  
d'un latosolo roxo de l'État du Paraná (Brésil). M.F. Guimaraes, J. Tavares Filho,  
R. Ralisch, C.C. Medina, M.M.L. Muller, J.L. Piccinin, Jr.O. Brandao ..... 41

Conséquences de l'état du profil cultural sur les peuplements végétaux :  
réussite de la levée en relation avec l'état du lit de semences.  
G. Richard, Carolyne Dürr ..... 49

Modélisation de l'émergence des plantules sous des croûtes superficielles.  
Nicole Souty, Colette Rode ..... 55

Effet du travail du sol au sec à la dent Rs8 sur l'amélioration de la production  
du sorgho au Burkina Faso. Albert Barro ..... 61

Adaptation des techniques culturales paysannes pour l'amélioration  
de l'implantation de l'arachide dans le bassin arachidier du Sénégal. Modou Sène ..... 65

Indices de rugosité du sol régionalisés. Serge Guillobez ..... 79

## THÈME 3. Les effets des itinéraires techniques sur l'évolution du profil cultural

Traficabilité et gestion des opérations mécanisées : études expérimentales,  
modèles et formes d'aide à la décision en culture de canne à sucre. Sylvain Perret ..... 87

Travail du sol, état structural et enracinement de végétaux cultivés  
sur sols ferrallitiques allitiques des Îles Loyauté (Nouvelle-Calédonie).  
E. Bourdon, C. Duwigi, T. Becquer, F. Letournel, D. Blavet ..... 101

Action des machines de travail du sol et structure du sol. M.-F. Destain .....	107
Effets des itinéraires techniques sur l'évolution du profil cultural : effets immédiats. Tahar Mansouri, Zouhaier Chaabouni .....	113
Effets des opérations de préparation du lit de semences et de semis sur la structure de la couche labourée. G. Richard, H. Boizard .....	119
Préparation des sols de rizière en fin de saison des pluies pour une remise en culture immédiate. Abdul Rozaq .....	125
L'effet de la récolte mécanique de la canne sur le sol et la plante. Ronald Ng. Cheong, Vivian Rivière, E. Jacquin .....	131
Le profil cultural : méthode d'observation, base de modélisation de son évolution à long terme. J. Roger-Estrade .....	139

## **Perspectives de travail**

Le travail du sol : un champ de recherches trop négligé. Hubert Manichon .....	151
--	-----

INDEX DES AUTEURS .....	158
-------------------------	-----

# La préparation mécanisée des sols : quelles problématiques de recherche ?

## Introduction

Sylvain PERRET

Cirad-Sar, Montpellier, France

On doit constater la difficulté à mener des actions de recherche et de développement sur le travail du sol. On peut identifier différentes raisons à cela : (i) les efforts et les progrès effectués sur d'autres actes techniques ont fait gagner beaucoup en productivité ; (ii) le travail du sol est un sujet de recherche complexe, dont les produits se déclinent rarement en termes de normes ou de recettes ; (iii) l'expertise et les décisions possibles sur l'acte technique échappent souvent à l'opérateur direct ; enfin (iv) la demande en la matière est complexe, englobante, d'origine diverse, les aspects socio-économiques interférant souvent avec les thèmes techniques. C'est, en particulier, le cas en milieu tropical et dans les pays en développement, où la motorisation présente certains traits particuliers, inhérents surtout (i) à la part importante de l'utilisation en commun des équipements, et (ii) au ratio « coût de la mécanisation / coût de la main-d'œuvre » souvent plus élevé qu'en pays tempérés industrialisés. Cependant, on constate dans le même temps que les opérations d'installation des cultures (préparation des sols et semis-plantation) sont toujours coûteuses, parfois risquées et souvent déterminantes sur les phases de développement de la culture puis sur les rendements.

Le Cirad a conduit pendant trois ans des actions pluridisciplinaires sur le thème des interactions sol-machine en travail du sol mécanisé, dans le cadre d'une action thématique programmée (Atp). Deux axes ont été privilégiés dans la démarche de l'équipe : (1) l'évaluation technique, agronomique et économique des itinéraires mécanisés, (2) l'étude et la modélisation des relations climat-sol-performances-produits. Un séminaire a eu lieu les 11 et 12

septembre 1996, visant à faire le point des avancées de ce programme, mais également pour faire un point plus global sur le sujet en impliquant des chercheurs d'autres centres français et internationaux. Ce document, sans prétendre à l'exhaustivité, présente des travaux récents et en cours, menés en Europe et en zones tropicales. Une réflexion sur le thème du travail du sol est proposée, dans une perspective de recherche impliquée dans l'innovation technique et organisationnelle. Son objectif est d'identifier les sources d'approximations, les questions qui se posent aux opérateurs et gestionnaires de matériels, les informations nécessaires aux éventuelles décisions.

## Des approximations techniques et agronomiques incontournables

Les choix en matière d'investissements en mécanisation se font au regard de conditions techniques et économiques au sein d'une filière ou d'une région (sociétés, coopératives, groupements...) et/ou de critères de décision propres au chef d'exploitation (sociaux, économiques, voire culturels, assolement et types de cultures au moment du choix...). Le matériel acquis se doit d'être adapté aux possibilités financières de l'entreprise ou de l'exploitation, aux disponibilités en travail de l'exploitation, et sur le plan technique (Fievet, 1982).

S'agissant du travail du sol, ce niveau technique est complexe. Le profil cultural est à la fois l'objet des opérations, le support du trafic des engins et le sub-

strat de la culture. Il est la résultante complexe de l'intervention d'un outil donné, dans des conditions données (Manichon, 1982). L'adaptation technique fait l'objet d'approximations, à différents niveaux, et plus particulièrement en conditions de gestion collective d'équipements :

- il existe différentes possibilités techniques pour une même culture ;
- réciproquement, un même matériel peut être mobilisé dans plusieurs systèmes ; les matériels les plus adaptés à un système et à des conditions pédo-climatiques ne sont pas forcément accessibles à l'achat, à la location ou à la prestation de service dans une région donnée ;
- le décalage temporel entre décision d'investissement et mise en œuvre de chantiers s'accroît et occasionne des conditions nouvelles, non prises en compte initialement (cultures, conditions pédo-climatiques...) ;
- les chantiers eux mêmes sont conduits souvent sur la base de la disponibilité de la main d'œuvre et du matériel, de l'organisation, de la gestion et de la cohérence d'un parc dans un parcellaire (exploitation) ou même une région (groupement), sur le respect d'un calendrier.

Concrètement, la cohérence agronomique du chantier à réaliser est souvent reléguée derrière ses derniers éléments. « *Quels sont les moyens les moins coûteux pour faire passer la parcelle de son état actuel à l'état qui est souhaitable, dans l'intervalle de temps disponible ?* » Cette question de fond posée (Manichon, 1982), il apparaît que les solutions dépendent non seulement des contingences exogènes évoquées plus haut, mais également de l'idée que l'opérateur se fait de « l'état souhaitable ». Les difficultés à construire une demande autour du thème de la simplification des itinéraires sont très représentatives de ce point (cas des systèmes canniers à la Réunion et à Maurice).

D'une façon générale, il convient d'admettre que les matériels sont mis en œuvre dans des conditions le plus souvent non-optimales (si tant est que l'on puisse définir les conditions optimales). Les opérateurs doivent alors accepter un risque dont ils ne connaissent ni la nature, ni l'ampleur. Ils constatent alors parfois l'émergence de problèmes agronomiques récurrents (qui peuvent résulter de certains choix systématiques en matière d'itinéraire mécanisé) ou ponctuels (liés à une situation climatique particulière par exemple). L'origine de ces problèmes est difficile à identifier, car les raisonnements approximatifs en matière de type ou de moment d'intervention ont des effets parfois peu visibles à court terme, et sont moins systématiquement sanctionnés que pour d'autres actes techniques. De plus, il est difficile « *de mettre en correspondance une*

*intervention à l'aide d'un outil... et une autre donnée qui pourrait être considérée comme un effet — il s'agit le plus souvent du rendement pour le praticien —* » (Hémin, 1982).

## **La préparation des sols : fonctions, choix d'expert et prise de risque**

Même si l'on s'affranchit des contingences organisationnelles souvent prédominantes en conditions tropicales (mécanisation collective), la prise de décision sur des critères strictement agronomiques reste un processus complexe. En effet, contrairement à d'autres actes techniques (traitement pesticide, récolte, fertilisation), les objectifs initiaux et les effets résultants d'une opération de travail du sol sont multiples. Les fonctions initiales attribuées à l'opération — émiettement, incorporation de fertilisants, de résidus, de reliquats de pesticides, destruction de précédent cultural, d'adventices, de parasites telluriques — débouchent après travail sur des effets multiples, favorables ou non, attendus ou non. Ils ne dépendent en outre pas seulement du matériel, mais également des conditions d'intervention.

Avant d'intervenir, et une fois posés (i) les choix ou les disponibilités en matériels, (ii) la période d'intervention, l'opérateur analyse la combinaison des objectifs qu'il se donne, des conditions édaphiques et climatiques de l'instant, des résultats probables de l'opération. La connaissance du comportement du sol, son évolution sous le passage des outils dans différentes conditions, est donc nécessaire (expertise). Concrètement, cette décision porte le plus souvent sur le moment de l'intervention, sur certains réglages ou paramètres (profondeur, vitesse...), car les marges de manœuvre concernant le matériel lui-même sont réduites.

L'information nécessaire à cette expertise peut être affinée, approfondie. A plus forte raison lorsque l'opérateur n'a pas le choix — la prestation de service impose souvent matériel, réglages et date —, l'information sur les conséquences probables, sur les risques pris, devient déterminante. Le savoir-faire (choix d'expert) s'efface le plus souvent derrière le pouvoir faire (pari). Les recherches à mettre en œuvre, et les éléments de conseil qui en découlent doivent intégrer ces points.

## **Questions et thématiques de recherches**

Les questions qui se posent à l'opérateur se déclinent en fonction des contraintes extérieures au chantier lui-même, et de la marge de manœuvre qui en résulte. Partant des constats évoqués, on peut formuler une question de recherche apte à fournir de

l'information, non pas en termes de normes, mais de références pour aider aux décisions, pour évaluer les risques : dans une gamme de conditions climatiques et d'états initiaux de sol, avec une gamme de matériels disponibles, (caractéristiques d'une région agropédo-climatique), quelles sont (seront) les caractéristiques des chantiers mis en œuvre en termes d'états résultants du sol et de fonctionnements futurs, en termes de fonctionnement des matériels mis en œuvre et de coût d'intervention ?

Une approche multi-critère, pluridisciplinaire, est sans doute à privilégier. Elle permet de fournir des éléments de jugement, de comparaison entre différents itinéraires techniques, évalués en conditions d'exploitation. En complément, un effort de modéli-

sation, notamment en termes de couplage de processus biophysiques et mécaniques avec des processus décisionnels, peut apporter les éléments d'aide à la décision que sollicitent les opérateurs.

## Références bibliographiques

Fievet G., 1982 Le choix des équipements agricoles. *In* La gestion des équipements, Iger, p 13-16.

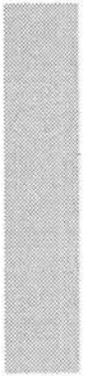
Hénin S., 1982. Les effets du travail du sol. *Science du sol*, 3 : 171-172.

Manichon H., 1982. L'action des outils sur le sol : appréciation de leurs effets par la méthode du profil cultural. *Science du sol*, 3 : 203-219.



THÈME 1

**Les méthodes de mesure  
de performances  
des matériels agricoles**





# Mesures de performances des équipements agricoles au champ

Roland PIROT

Cirad-Sar, Unité géographie, agronomie et mécanisation,  
73 rue J. F. Breton, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

**Résumé :** Dans le contexte économique actuellement difficile, les entreprises agricoles doivent être de plus en plus performantes et leurs responsables doivent prendre des décisions dans des situations délicates. En ce qui concerne l'utilisation de matériels agricoles, la possibilité de réduction des coûts concerne principalement trois postes : l'investissement initial et son maintien en état de marche ; la performance des matériels (consommation en carburant, puissance nécessaire...) ; la performance des chantiers (temps de travaux, qualité du travail...). Pour choisir en connaissance de cause, l'agriculteur va mettre en œuvre une méthode de réflexion qui lui permet de raisonner ses choix. Il doit disposer de références techniques pour alimenter cette réflexion. En simplifiant, pour l'utilisation des matériels agricoles, ces références techniques sont la façon d'utiliser la puissance en fonction des conditions d'interventions. Le Cirad-Sar a mis au point certains appareillages qui permettent de mesurer en grandeur réelle, les performances des matériels et des chantiers agricoles. Ils sont utilisés pour analyser l'utilisation de la puissance délivrée par le tracteur pour en évaluer les pertes. Cette chaîne de mesure peut chiffrer : la consommation en carburant, et donc la puissance développée ; le glissement (interface sol-tracteur) ; la vitesse réelle de travail ; l'effort de traction nécessaire pour tirer l'outil ; la profondeur de travail. Ces paramètres, associés à d'autres critères de décision, permettront d'aider au choix et à la gestion des équipements agricoles

## Un objectif : diminuer les charges de mécanisation

Aujourd'hui les agriculteurs doivent prendre des décisions dans des conditions de production difficile. Les coûts sont élevés et le marché s'internationalise ce qui entraîne une concurrence importante. Si ceci est vrai pour les pays européens ou américains, il l'est

d'autant plus pour les pays en voie de développement et principalement l'Afrique traditionnelle. L'Afrique vient, en plus, de subir une dévaluation dans un contexte de pauvreté technologique qui l'oblige à importer une grosse partie des équipements de production.

Pour les agriculteurs de certaines zones de production motorisée, l'un des objectifs prioritaire est donc de réduire les charges avec une contrainte supplémentaire qu'est la protection de l'environnement (principalement protection des sols). Parmi ces charges, les charges liées à la mécanisation prennent une part importante, il est donc judicieux de se pencher sur leur structure. Pour illustrer ce propos, ces charges de mécanisation sont estimées à 25 % des coûts de production pour une région de grande culture en France. En comparaison, au Sénégal, en riziculture irriguée, les charges de mécanisation représentent 33 % des charges totales et ne concernent, de plus, que la préparation du sol et la récolte.

Si l'on regarde les coûts d'un chantier de travail du sol (tableau I), on se rend compte que trois postes sont particulièrement élevés. Il s'agit :

- de l'intérêt du capital et des amortissements ;
- de la dépense en carburant ;
- des charges d'entretien et de réparation.

L'importance du premier poste montre l'attention particulière à apporter au choix des équipements qui, de nos jours, ne sont plus subventionnés. La hauteur de ce poste est fonction de trois éléments : l'intérêt du capital, le niveau d'investissement, le temps de fonctionnement annuel.

L'intérêt du capital est un paramètre peu modifiable, il est fonction de la situation politico-économique. L'équipement, dans ces régions d'Afrique, ne peut plus être individuel, il est, soit collectif (association de paysans), soit la propriété d'une entreprise de travaux agricoles. Le choix du niveau de puissance se raisonne plus en termes de capacités des matériels plutôt que de surface à travailler. Il s'agira donc de choisir d'une part le niveau de puissance du tracteur nécessaire et suffisant et d'autre part des outils adaptés au niveau de puissance du tracteur. D'une façon assez globale, le prix d'une cellule motrice est directement lié à son niveau de puissance. Quant au temps de fonctionnement annuel, les charges horaires sont inversement proportionnelles au temps d'utilisation annuel.

La dépense énergétique peut aussi être maîtrisée : elle est liée à trois principaux facteurs :

- le mode de conduite du chauffeur : le choix du rapport de vitesse, celui du régime moteur, l'adéquation entre l'outil et la cellule motrice sont autant de facteurs qui vont influencer sur la consommation ;
- les temps de travaux et la période d'intervention : l'utilisation d'outil combinés peut réduire la dépense ; le choix judicieux d'un outil peut limiter le nombre de passages, et faciliter l'intervention à un moment plus propice ;
- la qualité du réglage et de l'entretien des matériels : le mauvais réglage ou entretien entraîne une demande énergétique supérieure : un soc de charrue mal affûté peut demander 20 % de puissance nécessaire en plus.

L'importance des charges d'entretien et de réparations est moindre que les deux précédentes dans des conditions normales d'utilisation. Cependant, dans les conditions difficiles que sont celles des Ped, ces charges peuvent augmenter de façon importante par

manque de connaissances techniques. Une bonne formation de base pourrait pourtant facilement pallier ce type de problème.

En fait, bien maîtriser ses dépenses de mécanisation équivaut en grande partie à bien choisir son niveau de puissance et à bien utiliser la puissance disponible. D'où l'intérêt de connaître les dépenses énergétiques des différents matériels et leurs structures (puissance utile, pertes) en fonction des conditions d'intervention et des résultats que l'on cherche à obtenir.

## Une méthode : connaître la façon d'utiliser la puissance

### Rappels

Le tracteur est une source d'énergie destinée à animer un outil et malheureusement, comme dans tout transformateur d'énergie, il y a des pertes. Aujourd'hui, les cellules motrices sont de plus en plus souvent équipées de systèmes permettant de mesurer les paramètres influant sur les performances, et de là à minimiser les pertes, mais ils sont peu utilisés.

L'énergie est dissipée de deux façons : de façon utile, c'est-à-dire qui permet de réaliser le travail et de façon « inutile », qui correspond à des pertes qu'il faut minimiser.

### La puissance disponible

La puissance est fournie par le carburant transformé en énergie mécanique dans le moteur. Déjà à ce niveau, les 2/3 de l'énergie contenue dans les carbu-

**Tableau I.** Coûts d'un chantier de travail du sol (Havard 1996).

Détails des charges		Montant en FF/h		
		Tracteur	Cover crop	Ensemble
Frais fixes	Intérêt du capital	23,43	3,76	27,28
	Assurances	P.M.	P.M.	P.M.
	Charges d'abri	P.M.	P.M.	P.M.
	Impôts et taxes	P.M.	P.M.	P.M.
Frais variables	Amortissement	41,67	10,00	51,67
	Entretien et réparations	20,83	5,00	25,83
	Carburant	60,00	0	60,00
	Lubrifiant	19,80	0	19,80
	Salaires	12,5	0	12,5
Frais généraux		0		0
Prix de revient horaire en FF		169,23	18,75	188,08

rants sont perdus, le 1/3 restant est utilisable suivant trois formes (figure 1) :

- à la prise de force, la liaison moteur-prise de force est presque directe, la quasi-totalité de la puissance moteur est alors disponible ;
- à la barre, le transfert de la puissance se fait par la boîte de vitesse jusqu'aux roues ;
- aux prises hydrauliques, le moteur du tracteur entraîne une pompe à huile. L'énergie est disponible aux prises hydrauliques.

## Les pertes

A chacune de ces différentes formes correspondent des pertes plus ou moins importantes :

- entre le moteur et la prise de force : pertes dans les transmissions (assez faibles) ;
- entre le moteur et les roues (ou essieu) : pertes dans les transmissions (assez faibles) ;
- entre les roues et le sol : pertes par glissement et roulement (quelquefois importantes) ;

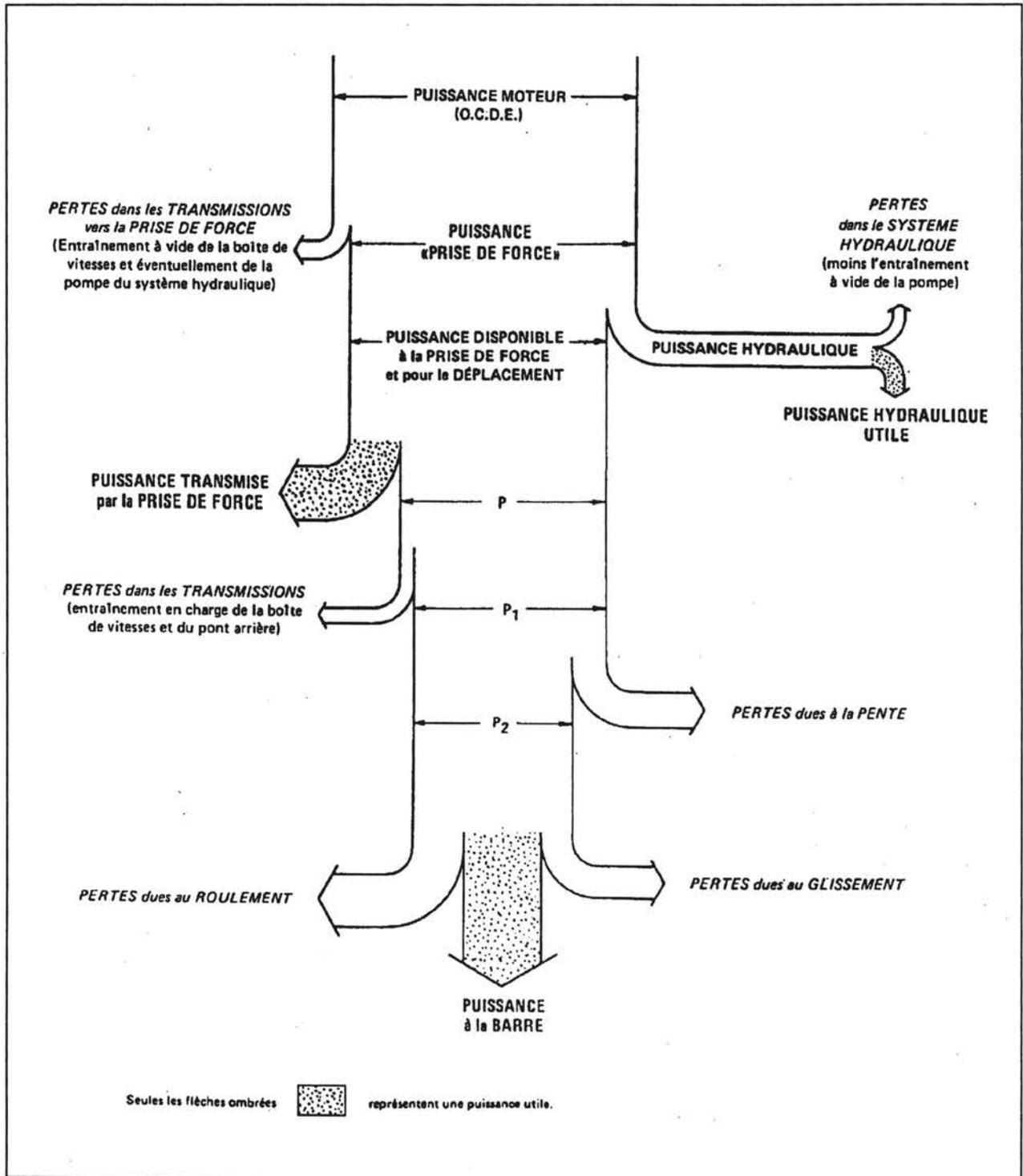


Figure 1. Répartition de la puissance moteur dans le cas général (Cemâgref).

- dans les circuits hydrauliques : pertes par écoulement de l'huile ;
- pertes exogènes : pertes dues à la pente.

Certaines seront relativement constantes (pertes dans les transmissions), d'autres seront fonction des conditions extérieures (pertes par glissement, par roulement et dues à la pente).

### Les économies possibles

Elles sont fonction du type de préoccupation. Du point de vue du tractoriste, il s'agira d'une recherche particulière de l'optimum mécanique par :

- l'entretien du tracteur et de ses outils (important en Ped) ;
- l'adaptation et le réglage des outils (choix de la dimension des outils...);
- l'utilisation correcte de l'ensemble tracteur-outil : choix du rapport de boîte, du niveau de charge et du régime du moteur, des conditions d'intervention...

L'agronome procédera à un choix des façons culturales donc des outils (choix qualitatif). La préoccupation du gestionnaire sera d'organiser efficacement les chantiers.

Dans ce document, nous ne traiterons que du premier type de préoccupation et c'est dans cette optique qu'un équipement métrologique embarqué a été mis au point.

## Un équipement pour mesurer les performances des matériels aux champs

Il s'agit de composants qui sont installés sur le tracteur ou les outils agricoles et qui vont permettre l'enregistrement de certains paramètres caractéristiques.

Cet équipement (figure 2) est constitué de :

- une série de capteurs qui vont quantifier des paramètres physiques en une grandeur électrique ;
- une centrale d'acquisition de données qui gère l'acquisition, effectue éventuellement un premier traitement et stocke les résultats ;
- un système de liaison entre les capteurs et la centrale ;
- un système de liaison avec l'ordinateur pour le transfert des programmes ou des données.

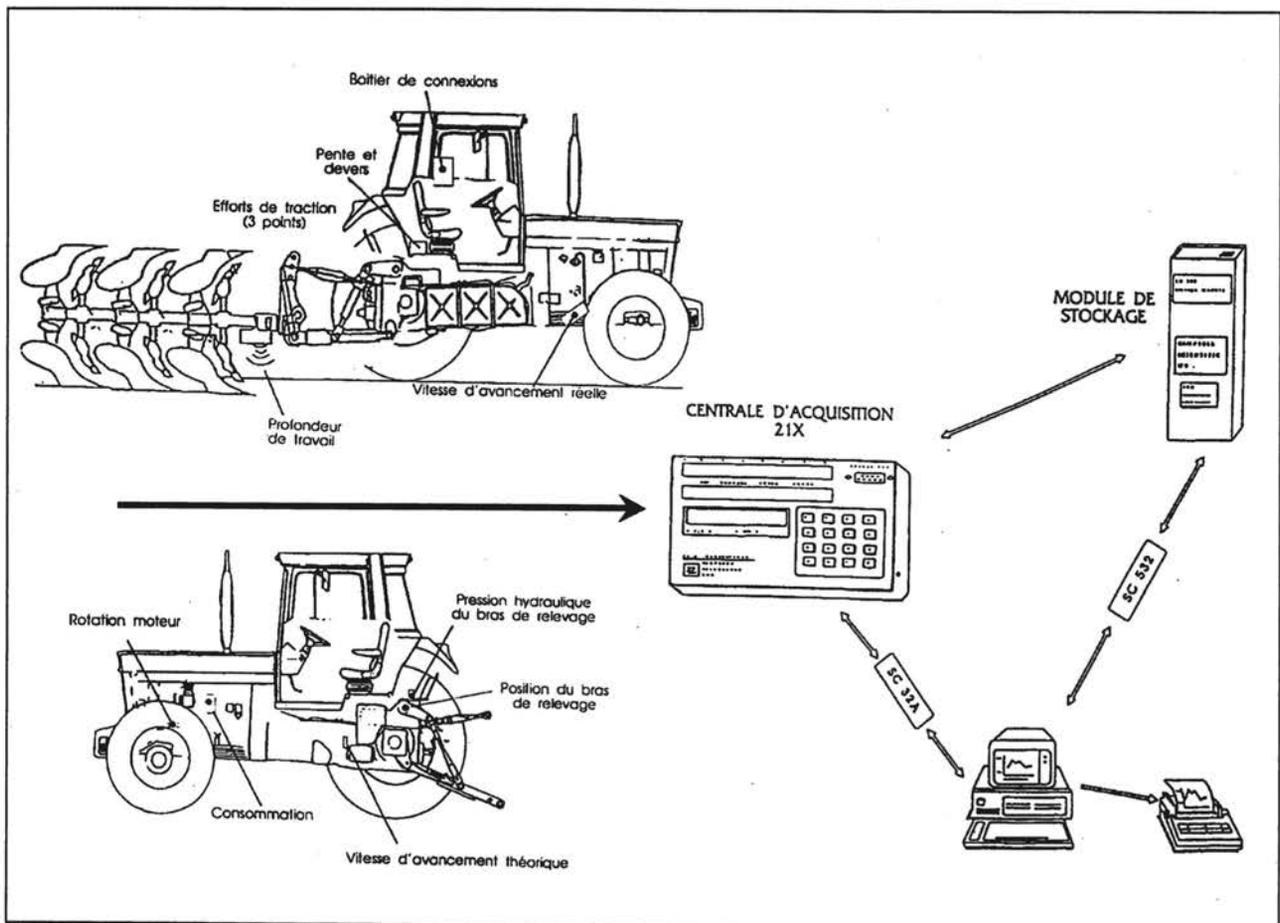


Figure 2. Acquisitions et traitement des données.

## Les capteurs

Les capteurs (tableau II) transforment les grandeurs physiques (exemple : rotation, vitesse...) en une grandeur électrique. Pour la plupart, originaires de l'industrie, ils sont de trois types dont deux couramment utilisés<sup>1</sup> : les capteurs analogiques et les capteurs logiques.

Dans les capteurs analogiques, la grandeur électrique est fonction de la grandeur physique (généralement proportionnelle), exemple le thermocouple. Dans les capteurs logiques, la grandeur physique est transformée en une série d'impulsions en fonction du temps, on les appelle aussi compteur : exemple le compte-tours.

## La centrale d'acquisition

Les capteurs sont connectés à la centrale d'acquisition qui, par l'intermédiaire d'un programme, va gérer la lecture des mesures des différents capteurs et les stocker.

Après différents essais, notre choix s'est porté sur le modèle 21X ou Cr10 de Campbell scientifique qui a les qualités suivantes :

- matériel portable ;
- alimenté par batteries ;
- entrées logiques, analogiques (et numériques avec programmation) ;
- pré-traitement interne possible ;
- temps de scrutation de 0,0125 s à 1,8 h ;

1. Les capteurs numériques sont peu utilisés, dans ce cas le signal est transformé en codage binaire.

- allocations mémoire : 20 000 pour le 21X, 30 000 pour le Cr10 ;
- affichage digital des lectures en temps réel ;
- communication avec micro-ordinateur par interface et programme spécifique ;
- programmation directe par clavier intégré ou par logiciel.

Les enregistrements sont effectués de façon autonome, les données sont stockées dans la mémoire de la centrale d'acquisition. Les essais terminés, elle est connectée à un ordinateur et les enregistrements sont transférés sous forme de fichiers lisibles sur un tableur.

## Les données déduites des données enregistrées

Les capteurs mesurent des paramètres physiques simples comme des vitesses de rotation, des températures... De ces mesures, on peut calculer certains paramètres plus élaborés.

### La puissance développée

En ce qui concerne les tracteurs agricoles, la puissance développée est déduite de la vitesse de rotation du moteur et de la consommation horaire. Le calcul se fait généralement par voie graphique à partir des courbes de référence à l'aide d'un petit programme informatique ou, quand on dispose d'un logiciel de modélisation, par voie mathématique (figure 3).

### Le patinage

Le patinage est déduit à partir de la vitesse réelle (mesurée par le radar) et de la vitesse théorique (vitesse des roues x circonférence de la roue) :

Tableau II. Différents types de capteurs utilisés avec la chaîne de mesure.

Capteurs	Paramètres mesurés	Signal	Précision
Radar	distance réelle	logique	$\pm 1 \% + E_{ts}$
Détecteur de proximité	vitesse des roues	logique	$E_{ts}$
Détecteur de proximité	régime moteur	logique	$E_{ts}$
Débitmètre	consommation	logique	$\pm 1 \% + E_{ts}$
Inclinomètre	penne	analogique	$\pm 1 \%$
Barreau dynamométrique	force	analogique	$\pm 0,1 \%$
Capteur ultrasonique	distance au sol	analogique	$\pm 1 \%$
Capteur de pression	pression	analogique	$\pm 1 \%$
Codeur absolu	position angulaire distance (conversion)	analogique	$\pm 0,1 \%$
Potentiomètre	position angulaire	analogique	$\pm 1 \%$
Codeur	outil/chauffeur	numérique	

$E_{ts}$  : erreur due au temps de scrutation.

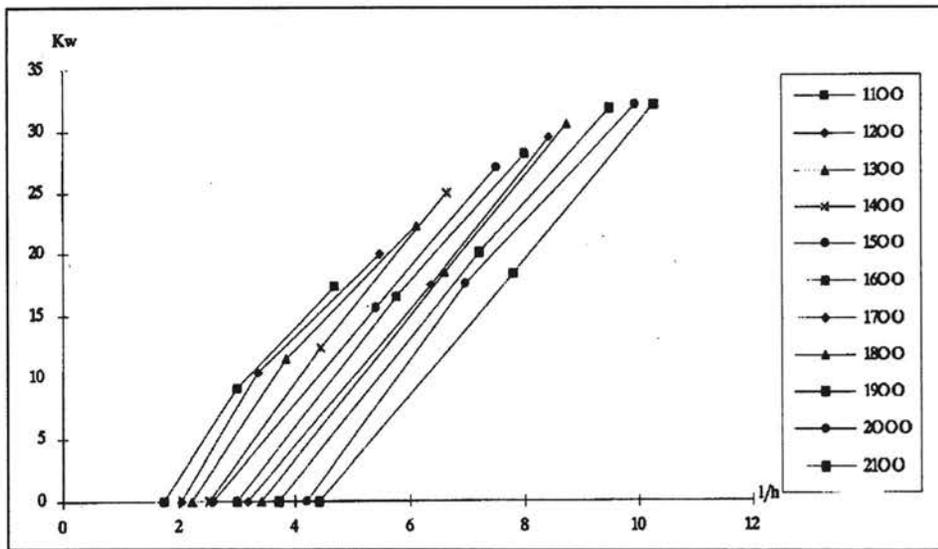


Figure 3. Puissance en fonction de la consommation par centaines de tour moteur.

$$\text{patinage} = \frac{V_{\text{théorique}} - V_{\text{réelle}}}{V_{\text{théorique}}} \times 100$$

$V_{\text{théorique}}$  = vitesse théorique

$V_{\text{réelle}}$  = vitesse réelle

### Les temps de travaux

L'information sur la position des bras de relevage nous permet de savoir si l'outil travaille ou non (bras de relevage baissés = outil au travail), dans ce cas, on peut calculer la surface horaire travaillée :

$$\text{Surface}_{\text{horaire}} = \frac{D_{\text{parcourue}} \times l_{\text{travail}}}{T_{\text{total}}} \times 100$$

$D_{\text{parcourue}}$  = distance parcourue au travail (mesurée par le radar).

$l_{\text{travail}}$  = largeur moyenne de travail.

$T_{\text{total}}$  = temps total.

### Puissance à la barre

Quand l'effort à la barre n'est pas mesuré, on peut obtenir la puissance à la barre en déduisant les différentes pertes (figure 1).

$$\text{Puissance}_{\text{barre}} = (1)PU_{\text{pdf}} - (2)P_{\text{transm}} - (1)P_{\text{epat}} - (2)P_{\text{eroul}} - (1)P_{\text{epente}}$$

$PU_{\text{pdf}}$  = puissance à la prise de force mesurée au banc dynamométrique.

$P_{\text{transm}}$  = pertes dans les transmissions.

$P_{\text{epat}}$  = pertes au patinage.

$P_{\text{eroul}}$  = pertes au roulement, fonction du poids du tracteur et de l'état du sol.

$P_{\text{epente}}$  = pertes dues à la pente.

(1) mesuré (2) estimé.

### Traitement des données

Le volume des données recueillies est généralement important. Il ne fera l'objet d'un traitement spécial, avec un tableur ou un logiciel de statistique, que lorsqu'elles correspondront à un essai spécifique : c'est le cas de l'expérimentation (voir exemple en annexe 1).

Pour des relevés plus répétitifs tels que le suivi des performances, il est préférable de recourir à un programme de dépouillement automatique. Ce programme aura pour avantage le traitement rapide des données mais aussi l'inconvénient de rigidifier les conditions d'acquisition et le type de résultats obtenus. Le Cirad-Sar a mis au point un programme (TRACTEUR) pour analyser les performances d'un équipement pendant la réalisation d'une opération culturale (voir exemple de données et de résultats en annexe 2).

Pour des études fines reliant conditions d'intervention et performances, il est difficile de travailler dans des parcelles homogènes impossibles à mettre en place, par contre, il est préférable d'utiliser les hétérogénéités qui nous donnent une large gamme de conditions initiales. La géostatistique nous permet alors de cartographier les différentes données.

Cette démarche n'est faisable que s'il est possible d'associer en chaque point de la parcelle, conditions d'intervention et performances du matériel. Certaines méthodes statistiques nous permettent d'établir une cartographie des paramètres si l'on peut les positionner. S'il n'est pas difficile de positionner les paramètres relatifs au sol (humidité, densité), les paramètres caractérisant les performances du tracteur en mouvement nécessitent un système de positionnement en temps réel. Plusieurs systèmes sont disponibles sur le marché dans une gamme de prix étendue. Compte tenu de l'évolution du système Gps, tant pour la qualité que pour son coût, il y a de bonne chance pour qu'il devienne un outil privilégié pour ce type d'étude.

## En conclusion

Pour effectuer le relevé des performances des équipements agricoles, la chaîne de mesure, élaborée par le Cirad-Sar est globalement au point. Cette chaîne permet différents types de travaux :

- des expérimentations fines en milieu contrôlé permettant d'associer des résultats agronomiques à des rendements énergétiques des machines qui les réalisent ;
- des suivis de performances des équipements en milieu réel, dans ce cas, c'est le côté plus technico-économique qui est l'objet de l'étude et, faute de système automatique, les conditions d'intervention ne peuvent qu'être sommairement relevées et enregistrées ainsi que le lieu d'intervention du matériel ; c'est, dans ce cas, le nombre des observations qui est privilégié à la finesse de l'observation.

Dans le cas de suivis prolongés, il faut étudier les méthodes de traitement et d'analyse rapide de ces données.

## Références bibliographiques

HAVARD M., 1996. Mécanisation agricole : Exemple d'outils et de méthodes de calcul économique. Dossier de cours CIRAD-SAR, 19 p. + annexes.

HAVARD M., LE GAL P.Y., PIROT R., 1994. Towards a decision support system integrating different kinds of knowledge to choose and manage field equipment. In International conference on agricultural engineering. AgEng'94, Milan, Italie. p. 1052-1060.

MOUSSET J., 1994. La modélisation du travail pour le conseil en agroéquipement. Recueil des communications de la journée d'étude "Organisation du travail", Cedag, 13-12-1994, Rennes, 7 p.

PIROT R., 1992. Automation of in-field data recording : recent research work at CIRAD-SAR In Proc. Ag'Eng Congress, Upsala, Sweden, 1-4 June 1990, 2 p.

PIROT R., 1996. L'acquisition et la gestion de références en agriculture : la cas des équipements en PED. Document de travail CIRAD-SAR, 12 p.

PERRET S., PIROT R., BARRET P., GALLET P., DEURVILHER D., 1994. Etude et définition d'un appareillage électronique d'acquisition de données embarqué sur tracteur. CIRAD-SAR, 20 p + annexes.

PERRET S., RAZAKA B., PIROT R., 1994. In field measurement of tillage implements performances : practical applications in soil tillage relations studies. In International conference on agricultural engineering. AgEng'94, Milan, Italie, p. 647-648.

VITLOX O., DEPOORTER J., KETS R., 1992. Essais des tracteur à la prise de force. Station de Génie Rural. CRA de Gembloux. Note technique n° 57.

## Annexe 1

### Exemple de résultats dans le cas d'une expérimentation visant à définir l'humidité du sol optimale pour l'intervention d'un équipement tracteur-charrue (Perret, 1994)

Mesures effectuées sur chaque parcelle élémentaire (la longueur est fonction de la vitesse de déplacement et du temps de scrutation de la centrale d'acquisition, la largeur est la largeur de travail de l'outil).

Tracteur	Outil	Sol
Vitesse réelle (m s <sup>-1</sup> )*	Puissance à la barre (kW)*	Humidité volumique (g cm <sup>3</sup> )***
RPM moteur (tour min <sup>-1</sup> )*	Profondeur de travail (m)*	Densité sur mottes (g cm <sup>-3</sup> )***
Consommation GO (l h <sup>-1</sup> )*	Largeur de travail (m)***	Résistance à la pénétration (M Pa)***
Puissance prise de force (kW)**		Poids de la bande travaillée (kg)**
Glissement (%)**		

\*relevés effectués par la chaîne de mesure au champs  
 \*\*données calculées  
 \*\*\*mesures relevées manuellement

### Résultats synthétiques obtenus après traitement des données

(Les parties en grisé correspondent aux conditions optimales pour chaque paramètre)

Sol	humidité de surface résistance à la pénétration risque de compaction	>35% importante non	35-39% modérée non	<39% faible oui
Tracteur	glissement demande énergétique globale pertes d'énergie	modéré importante modérées	modéré modérée faibles	important importante importantes
Résultats	lit de semence	grosses motte dures	petites mottes fiabes	et terre fine

## Annexe 2

### Exemple de résultats obtenus pour des relevés de performances de matériels au champ (Pirot 1990).

#### Données brutes du fichier Cross.Def

Temps h : m : s	Vitesse m/s	R.P.M. Tr/min	Consommation l/h	Pente %	Devers %	Profondeur Cm	Outil 1=Trav	Rep. N°
10:56:16	1,119	2004	07,92	3,15	-25,0	+45,88	0	0
10:56:21	0,810	1992	10,80	,244	-15,4	+45,99	0	0
10:56:26	0,533	2016	10,08	-7,28	-38,3	+46,10	0	0
10:56:31	1,012	1992	10,80	1,44	-38,6	+46,23	0	0
10:56:36	0,628	1992	08,64	-3,12	-26,7	+45,82	0	0
10:56:41	0,887	1956	20,88	-4,42	-27,4	+48,32	1	0
10:56:46	1,301	1656	25,92	-9,92	-36,0	+51,91	1	2
10:56:51	1,679	2088	29,52	-6,42	-22,1	+45,93	1	2
10:56:56	1,562	2052	30,24	-,293	-3,43	+48,74	1	2
10:57:01	1,430	2016	30,96	,594	-4,22	+54,20	1	2
10:57:06	1,350	1896	29,52	1,93	-1,78	+52,55	1	0
10:57:11	1,501	2016	30,96	,233	-6,86	+53,52	1	0
10:57:16	1,554	2028	30,96	1,91	-2,16	+52,59	1	0
10:57:21	1,616	1980	30,24	-2,10	-10,8	+51,74	1	0
10:57:26	0,410	2052	15,12	9,77	-2,89	+45,64	0	0
10:57:31	1,077	1992	16,56	2,19	17,5	+45,77	0	0

#### Les résultats techniques

Date : 1.12.

Marque du tracteur : Massey Ferguson.

Type du tracteur.

Lieu : Maurice.

Type de sol : humide.

Etat de surface : terrain avec énormément de souches.

Outil : pulvériseur.

Durée de l'essai : 0 h 5 mn 20 s.

Temps de travail : 0 h 2 mn 55 s Pourcentage de fourrières : 45,3 %.

Surface moyenne horaire travaillée avec les fourrières : 0,88 ha/h.

Surface moyenne horaire travaillée sans les fourrières : 1,61 ha/h.

Consommation horaire avec les fourrières : 20,06 l/h.

Consommation horaire au travail : 27,01 l/h.

Moyenne des consommations spécifiques au travail : 0,30 l/kw/h  $\sigma$  : 0,01 l/Kw/h.

Moyenne des puissances Pto pendant le travail : 91,58 kw  $\sigma$  : 13,55 kw.

Puissance maximale Pto pendant le travail : 107,31 kw.

Effort maximal : 64,16 kN ; minimal : 27,04 kN ; moyen : 8,55 kN.

Vitesse moyenne du travail : 5,04 km/h ; glissement moyen : 19,6 %.

Nbre d'enrayures : 4 ; enrayure max : 69,22 m ; enrayure min : 52,12 m.

Prof. travail max : 57,4 cm ; min : 45,9 cm ; moy : 50,3 cm  $\sigma$  : 2,7 cm.

Largeur moyenne de travail : 3,20 m.

Remarques : sans.