



Tracteurs : comprendre, choisir, entretenir

- Approche technologique et mécanique
- Aide pour un choix raisonné
- Conseils d'utilisation et d'entretien

Willy de Krem

2^e édition



Sommaire

PARTIE I – APPROCHE TECHNOLOGIQUE DU TRACTEUR	1
1 L'étude du moteur Diesel	3
Définition du moteur	3
Moteur thermique à combustion interne	4
Moteur à explosion	5
Principe du moteur Diesel	6
Notions de base des moteurs thermiques	6
Origine des gaz de combustion et phénomène de combustion	7
Définition de la combustion	7
Définition du carburant (le gasoil)	8
Moteur élémentaire	12
Pièces fixes	12
Pièces mobiles ou attelage mobile	12
Distribution	13
Définition	13
Entraînement par le vilebrequin	13
Cycle du moteur à 4 temps Diesel (moteur à combustion interne 4 temps Diesel)	15
Principe de fonctionnement	15
Étapes du procédé thermodynamique	16
Diagramme de pression-volume	18
Épure de distribution	19
Caractéristiques dimensionnelles	20
Cylindrée (V)	21
Volume initial (V_i)	22
Rapport volumétrique (ρ)	22
Étude structurelle du moteur	22
Attelage mobile	22
Pièces fixes : culasse, cylindre, carter	26
Ensemble distribution	28
2 Les systèmes associés au moteur	31
Système d'alimentation en air	31
Filtres à bain d'huile	31
Filtres à cartouches sèches et préfiltres	33
Filtres à cartouches sèches avec cyclone incorporé et éjection	34

Système d'injection.	36
Réservoir.	37
Pompe d'alimentation ou de gavage	38
Préfiltre	38
Filtre et décanteur	38
Pompe d'alimentation	39
Pompe d'injection (haute pression)	39
Pompes en ligne.	39
Pompes d'injection rotatives	48
Injecteurs	52
Principe de l'injecteur	52
Injecteurs à tétons pour les moteurs à injection indirecte	53
Moteurs à injection à trous pour les moteurs à injection directe	55
Moteur à injection avec rampe commune	61
Fonctionnement de la rampe (ou rail) commune ou <i>common rail</i>	63
Fonction des différentes parties	64
Principe de fonctionnement	66
Système de suralimentation	68
Deux procédés de compression	69
Compresseur	69
Turbocompresseur (turbo)	69
Fonction des différentes parties	70
Volute d'échappement	70
Turbine d'échappement	70
Volute d'admission	70
Liaison centrale (ou corps central)	71
Système de refroidissement	71
Régulation du turbocompresseur	72
Système de refroidissement	74
Système de lubrification	80
Système de charge et de démarrage	83
Étude fonctionnelle des divers éléments de la batterie	85
Batterie d'accumulation	85
Fonctionnement détaillé de l'accumulateur.	87
Durée de vie d'une batterie	87
Caractéristiques d'une batterie	88
Démarreur	90
Alternateur	108
3 La transmission mécanique	132
Embrayage	133
Fonctionnement	133
Dimensionnement de l'embrayage	136

Boîte de vitesses	136
Composition	137
Ensemble de rapports	137
Gammes	139
Inverseur	139
Différentes transmissions	139
Boîte à rapports discrets	139
Boîte semi-automatique partielle	142
Boîte semi-automatique totale.	142
Boîte automatique partielle	142
Transmission à variation continue.	143
Différentiel	147
Fonctionnement	148
Blocage du différentiel	148
Réducteurs finaux.	150
Freins	150
Roues avec pneumatiques.	151
Carcasse	151
Talons	152
Flancs	152
Bande de roulement	152
Lire les dimensions d'un pneumatique agricole	152
L'indice de charge normalisée	153
L'indice de vitesse normalisée	153
Les séries et les compatibilités de diamètres	153
Pont avant moteur	154
4 Les équipements	156
Équipement hydraulique	156
Caractéristiques du fluide	156
Définition d'un fluide	156
Viscosité	156
Régime d'écoulement.	157
Répartition des vitesses dans le cas d'un écoulement laminaire.	158
Principe de l'hydrostatique	159
Pression	160
Débit d'un fluide	161
Pertes de charge	161
Circuit hydraulique	162
Vérins à simple effet	162
Vérins à double effet	162
Descriptif du circuit hydraulique.	163
Équipement automatisé	166

Exemple d'asservissement du tracteur : le relevage hydraulique	168
Principe de fonctionnement	168
Fonctionnement de l'asservisseur : contrôle de position	172
Fonctionnement de l'asservissement : contrôle d'effort	179

**PARTIE II – COMMENT RAISONNER LE CHOIX D'UN TRACTEUR
ET SON UTILISATION 185**

1 Raisonner le choix selon les besoins des productions de l'exploitation.	187
Calculer les besoins de mécanisation pour chaque culture	187
Calculer les besoins pour l'ensemble de l'exploitation	189
Comparer les besoins en travail mécanisé calculé aux disponibilités de l'exploitation	190
Envisager des solutions en cas de déficit mécanique	191
Réduire les besoins en heures de travail.	191
Augmenter occasionnellement le matériel et/ou la main-d'œuvre	191
Statuer sur une solution d'organisation ou d'investissement	191
2 Raisonner le choix selon le besoin de puissance du tracteur	193
Rappel physique	193
Force	193
En translation.	194
En rotation	194
Système bielle-manivelle	196
Évolution de ce couple au cours du cycle moteur.	197
Durant l'admission	197
Durant la compression	197
Durant la détente.	197
Durant l'échappement	197
Courbe de couple	198
Couple maxi	198
Couple nominal	198
Remontée de couple	198
Réserve de couple.	199
Plage d'utilisation.	199
Courbe de puissance.	199
Puissance maximale	200
Puissance nominale	200
Plage de puissance constante.	201
Puissance au couple maxi	201
Courbe de consommation spécifique (C_s)	201
Conclusion des courbes	202

3	L'utilisation raisonnée et économique du tracteur	204
	Qui peut utiliser le tracteur ?	204
	Selon le code de la route	204
	Pour circuler sur la voie publique, on doit posséder un permis de conduire B	204
	Pour un usage agricole	205
	Selon le code du travail	205
	Comment réduire sa consommation de gasoil ?	206
	Choisir la prise de puissance ou de force	206
	Gérer l'équilibre tracteur-outil	208
	Deux exemples réels de renversement mortel	211
	Fauche de prairie	211
	Épandage d'engrais sur une prairie	212
	Étude d'un tracteur en statique : en équilibre	214
	Isolation du système sur un sol plat	215
	Bilan des actions	215
	Conditions d'équilibre	215
	Déterminer les actions mécaniques	215
	Étude d'un tracteur en traction horizontale	217
	Pour un quatre roues motrices	217
	Pour un deux roues motrices	219
	Comportement du tracteur en pente et en dévers	223
	En pente	223
	En dévers	224
	Gérer sa conduite par rapport au rendement	226
	Rendement moteur	226
	Rendement du cycle ou rendement indiqué (R_c)	226
	Rendement mécanique ou organique (R_m)	227
	Rendement industriel (R_i)	227
	Rendement de Carnot ou rendement théorique (R_{th})	227
	Rendement tracteur-outil	228
	Conduire en sécurité	229
	Fixer le ou les objectifs du travail	229
	Choisir son équipement	229
	Adapter le tracteur et l'outil choisi	230
	Prévoir les équipements indispensables	230
	Effectuer des vérifications avant la prise de poste	230
	Effectuer des vérifications sur le poste de conduite	230
	Contrôler l'outil	230
	Vérifier l'attelage	231
	Vérifier le fonctionnement de l'outil	231
	Contrôler la signalisation	231

Contrôler les protections	231
Se déplacer	231
Travailler au champ	232
Remiser l'outil	232
Prévoir les enregistrements	232
Évaluer les risques	232
Risques de cabrage de glissement et de renversement	232
Risques de coincement et d'écrasement	232
Risques d'engrènement d'entraînement et de cisaillement	233
Ergonomie	233
4 L'impact environnemental de l'utilisation du tracteur	234
Pollutions chimiques	234
Désagréments visuels	234
Nuisances olfactives	235
Gêne auditive	235
Impacts mécaniques	235
5 Raisonner le financement d'un achat en estimant son coût d'utilisation	237
Charges fixes	237
Amortissement	237
Intérêts des emprunts	238
Dans le cas d'un emprunt	238
Dans le cas d'un autofinancement	238
Remisage	239
Charges variables, dites de fonctionnement ou opérationnelles	239
Carburant	239
Lubrifiants	240
Pneumatiques	240
Exemple d'un cas concret	240
Charges fixes	240
Amortissement	240
Intérêts du capital emprunté	240
Coût de l'autofinancement	240
Charges opérationnelles	241
Carburant	241
Lubrifiants	241
Pneumatiques	241

PARTIE III – GPS, ENTRETIEN ET MISE EN CONFORMITÉ	243
1 Le GPS	245
2 L’entretien et la mise en conformité	249
Entretien	249
Carburant	249
Stockage	249
Alimentation du tracteur	249
Alimentation en air	249
Circuit de refroidissement	249
Lubrification moteur	249
Transmission	250
Circuit hydraulique	250
Relevage et attelage	250
Pneumatiques	250
Circuit électrique	250
Freins	251
Mise en conformité	251
Conformité	251
Normalisation et réglementation	251
PARTIE IV – ANNEXES	253
1 Rappel sur les notions d’électricité	255
Générateur d’électricité	255
Effet du courant continu	255
Sens du courant	255
Différence de potentiel (tension)	256
Intensité (I)	257
Résistance (R)	257
Loi d’Ohm	257
Loi de Joule	258
Loi des mailles	260
2 Comment utiliser une résistance ?	261
Résistance, limiteur de l’intensité dans un circuit	261
Résistance, diviseur de tension	261
3 Les pertes de charge	263
Montage expérimental	263
Observations	264

Interprétation	265
Intérêt de la loi de Poiseuille	265
Relation de Bernoulli	266
4 Les principes de l'automatisation	268
Représentation d'un système automatisé	268
Rôles des différentes parties	268
Partie commande (PC)	268
Partie opérative (PO)	268
Matière d'œuvre (MO)	269
Actionneurs	269
Pré-actionneurs	269
Effecteurs	269
Capteurs	269
Opérateur	269
Différents degrés d'automatisation	270
Explications	270
Système boucle ouverte	270
Système monitoring	271
Système asservi	271
Catégories des systèmes automatisés	272
Logique combinatoire	272
Logique séquentielle	272
Système asservi	272
Classification en fonction du signal de sortie	272
Signal logique	272
Signal analogique	272
Signal numérique	273
Algèbre de Boole	273
GRAFSET	274
Asservissement et régulation	276
Caractéristiques de comportement	276
Précision	276
Rapidité	276
Stabilité	277
Représentation schématique	278
Réponses des systèmes asservis	280
Nature de l'asservissement	282
Système suiveur	282
Système régulateur	282
Analyse du fonctionnement d'un système automatisé	285
Méthode APTE®	286

Méthode RELIASEP®	286
Diagramme FAST (<i>Fiction Analysis System Technique</i>)	286
Méthode SADT (<i>Structured Analysis and Design Technique</i>)	288
Technologie des actionneurs	290
Actionneurs	290
Technologie des capteurs	290
Capteurs de changement d'état	291
Capteurs de variation d'une grandeur physique	296
5 L'équilibre	310
Étude d'un système tracteur-outil en équilibre	310
Isolation du système tracteur-charrue sur un sol plat	310
Bilan des actions extérieures	310
Conditions d'équilibre	311
Détermination des actions mécaniques	311
Limite de cabrage	312
Limite de sécurité	312
Étude d'un système tracteur-remorque semi-portée	313
Isolation de la remorque	314
Bilan des actions	314
Conditions d'équilibre	314
Isolation du tracteur	315
Bilan des forces	315
Conditions d'équilibre	315
Unités utilisées dans l'ouvrage	327
Abréviations	328
Bibliographie	330
Index	331



Approche technologique du tracteur



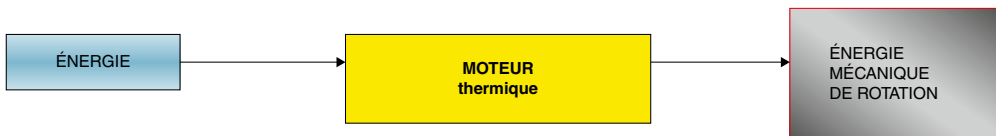
L'étude du moteur Diesel

Le tracteur agricole est animé mécaniquement par un moteur, généralement Diesel (du nom de son inventeur, Rudolf Diesel), qui permet de mouvoir le tracteur et ses outils. C'est un organe essentiel du tracteur.

Il existe différents types de motorisation, mais un moteur 4 temps Diesel équipe d'ordinaire les tracteurs.

Définition du moteur

Un moteur est un ensemble d'éléments qui transforme une énergie quelconque (thermique, électrique, hydraulique, pneumatique) en énergie mécanique de rotation.

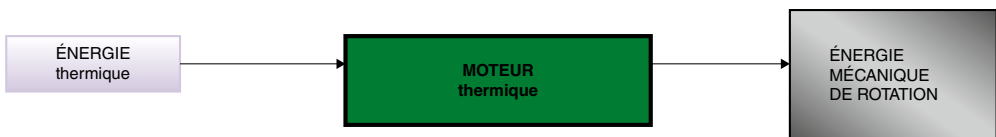


▲ **Figure 1.1** : Définition du moteur.

On peut dire qu'un moteur transforme une énergie en mouvement rotatif. Le moteur des tracteurs utilise l'énergie thermique engendrée lors d'une réaction chimique nommée la combustion.

L'étude théorique qui traite de ces phénomènes et de ces principes fondamentaux est appelée la thermodynamie (l'art de créer un mouvement mécanique à partir de chaleur).

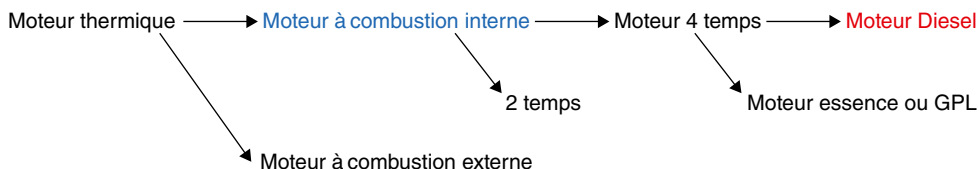
Le moteur thermique peut être représenté de la façon suivante :



▲ **Figure 1.2** : Représentation schématique du moteur thermique.

Il existe différents types de moteurs :

- le moteur thermique ;
- le moteur électrique ;
- le moteur hydraulique ;
- le moteur pneumatique.



▲ **Figure 1.3** : Classification des différents moteurs.

Remarque

- La classification détaille uniquement le moteur du tracteur : le moteur 4 temps Diesel.
- On parle souvent de moteur à énergie solaire. Mais l'énergie solaire (photovoltaïque) est elle-même transformée en énergie électrique, tout comme l'énergie nucléaire est une énergie thermique transformée en énergie électrique.
- L'énergie hydraulique provient du débit et/ou la pression d'un fluide liquide comme une huile. Dans le cas de l'eau, on préfère transformer l'énergie hydraulique en énergie électrique (ex. : barrage hydroélectrique).
- L'énergie pneumatique utilise aussi le débit et/ou la pression d'un fluide mais gazeux (habituellement de l'air).

On peut conclure qu'il n'existe que quatre grandes énergies transformables en énergie mécanique pour créer un mouvement. En réalité, ces quatre énergies ont une et une seule origine : l'énergie thermique dégagée par la réaction de fusion nucléaire de notre astre, le Soleil.

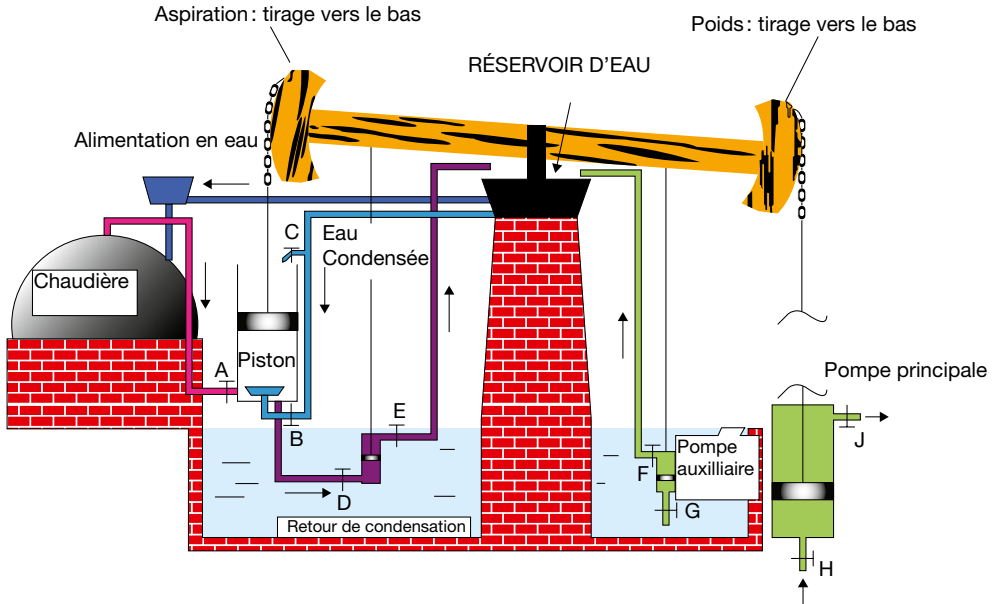
Moteur thermique à combustion interne

Pourquoi parle-t-on de moteur thermique à combustion interne par opposition au moteur à combustion externe ?

Le moteur thermique à combustion externe servait à animer les pompes à eaux des galeries des mines de charbon en Angleterre, vers 1700. Ces machines à vapeur, appelées machines de Newcomen (*figure 1.4*), produisent un mouvement non par la pression, mais grâce à la dépression créée par condensation de l'eau dans un cylindre.

Vinrent ensuite les réalisations du Français Denis Papin (1714). Puis, vers 1769, James Watt perfectionna ces moteurs.

Dans toutes ces machines à combustion externe, la combustion est produite dans un foyer à l'extérieur du moteur et l'énergie est transportée jusqu'à l'élément mécanique par la vapeur d'eau. Ce moteur utilise une « chaudière » qui met en pression de la vapeur qui à son tour actionne un mécanisme. La combustion du carburant se fait donc à l'extérieur du moteur, d'où son nom. Il équipera plus tard les bateaux et les trains à vapeur.



▲ **Figure 1.4** : Machine de Newcomen.

Des techniciens et des ingénieurs continuèrent à perfectionner le système : la combustion se fait aujourd'hui à l'intérieur même du moteur, appelé alors moteur à combustion interne.

Moteur à explosion

Pourquoi parle-t-on souvent de moteur à explosion et non de moteur à combustion ?

L'explosion est une combustion rapide provoquant une déflagration : les gaz brûlés se déplacent à une vitesse constante qui, dans une explosion, augmente brusquement pour se traduire en une détonation. Cette dernière déclenche une onde de choc qui risque d'endommager le moteur en libérant brutalement une grande quantité d'énergie sur les parois des cylindres et des pistons. Ceux-ci vont vibrer sous l'effet de l'onde de choc, provoquant des bruits métalliques nommés cliquetis : ce phénomène est aussi appelé résonance de l'explosion.

Les spécialistes emploient le terme d'explosion pour une combustion différente de la déflagration et de la détonation. L'explosion se produit spontanément dans tous les mélanges carburés. Il n'y a donc pas de propagation de l'inflammation du mélange.

Le mot explosion est impropre pour caractériser les moteurs thermiques modernes. La combustion dans ces moteurs se fait, en effet, à l'aide d'une déflagration qui est provoquée par l'arc électrique de la bougie ou l'injection de gasoil.

Pour favoriser la combustion des gaz, on évalue la capacité du gasoil à s'enflammer à l'aide d'une échelle de 0 à 100 appelée l'indice de cétane (composé chimique du gazole $C_{16}H_{34}$). Si l'indice est élevé, le carburant s'enflammera facilement.

Raisonner le choix selon les besoins des productions de l'exploitation

Pour raisonner le choix, il faut analyser les besoins en mécanisation de l'exploitation et plus particulièrement les travaux mécanisés qui sollicitent l'emploi du tracteur, pour un type d'exploitation donné. Ceci peut se réaliser de façon méthodologique selon la procédure présentée ci-dessous, en prenant, par exemple, comme support d'activité, une exploitation en polyculture élevage.

Calculer les besoins de mécanisation pour chaque culture

Différents paramètres doivent être pris en compte :

- l'ensemble des travaux à réaliser avec son tracteur pour son exploitation ;
- puis, pour chaque travail estimé, le nombre d'heures nécessaire à sa réalisation.

On peut se référer aux tableaux (ex. : *tableau 2.1*) indiquant la puissance du tracteur nécessaire pour un ensemble d'équipements et le nombre d'heures à l'hectare pour chaque équipement.

Exemple

Vous souhaitez labourer un champ de 30 hectares avec une charrue 4 socs de 18 pouces.

La durée du labour sera de : $30 \text{ (hectares)} / 1,12 \text{ (hectare/heure)} = 27 \text{ heures}$.

La consommation de carburant sera d'environ de $12,5 \text{ L} \times 27 \text{ heures}$ soit 337,5 L.

**TABLEAU 2.1 : BESOINS EN PUISSANCE MOTEUR ET EN CARBURANT
DE CERTAINES MACHINES AGRICOLES**

Matériels	Puissance requis (CV)	Hectares par heure	Litres/ hectare	Litres/ heure
Charrue à 4 socs de 18 pouces (46 cm)	75	2,8	4,5	12,5
Charrue à 6 socs de 18 pouces (46 cm)	130	4,2	5,1	21,6
Charrue à 8 socs de 18 pouces (46 cm)	160	5,6	4,7	26,5
Cultivateur de 12,5 pieds (3,8 m)	75	9,0	1,4	12,5
Cultivateur de 18 pieds (5,5 m)	105	13,0	1,3	17,4
Cultivateur de 37 pieds (11 m)	225	26,7	1,4	37,5
Charrue chisel de 11 pieds (3,35 m)	75	5,9	2,1	12,5
Charrue chisel de 15 pieds (4,55 m)	130	8,0	2,7	21,6
Pulvérisateur tandem de 11 pieds (3,35 m)	60	6,4	1,5	9,9
Pulvérisateur tandem de 15 pieds (4,56 m)	105	8,7	2,0	17,4
Semoir en lignes à 4 rangs de 36 pouces (91,5 cm)	40	5,6	1,2	6,8
Semoir en lignes à 6 rangs de 30 pouces (76 cm)	60	7,0	1,4	9,9
Semoir en lignes à 12 rangs de 30 pouces (76 cm)	105	14,0	1,2	17,4
Semoir combiné à 4 rangs de 36 pouces (91,5 cm)	60	5,1	1,9	9,9
Semoir combiné à 6 rangs de 30 pouces (76 cm)	75	6,4	2,0	12,5
Semoir combiné à 8 rangs de 30 pouces (76 cm)	105	8,5	2,1	17,4
Semoir à céréales de 25 pieds (7,6 m)	130	4,7	4,6	21,6
Semoir à céréales de 35 pieds (10,6 m)	160	14,9	1,8	26,5
Semoir de 20 pieds à roues plombeuses (6 m)	130	8,5	2,5	21,6
Semoir (semis direct) de 15 pieds	130	6,4	3,4	21,6
Semoir (semis direct) de 21 pieds (4,56 m)	160	8,5	3,1	26,5
Pulvérisateur de 30 pieds (9,1 m)	40	15,4	0,4	6,8
Pulvérisateur de 50 pieds (15,2 m)	60	25,6	0,4	9,9
Faucheuse-conditionneuse de 9 pieds (2,7 m)	40	4,4	1,6	6,8
Faucheuse-conditionneuse rotative de 9 pieds (2,7 m)	75	6,6	1,9	12,5
Presse à balles carrées	40	4,4	1,6	6,8
Presse à balles rondes de 1 000 lb (453 kg)	60	3,0	3,3	9,9
Presse à balles rondes de 1 500 lb (680 kg)	60	4,0	2,5	9,9
Presse à grosses balles carrées	130	16,3	1,3	21,6

TABLEAU 2.1 : BESOINS EN PUISSANCE MOTEUR ET EN CARBURANT DE CERTAINES MACHINES AGRICOLES (SUITE)

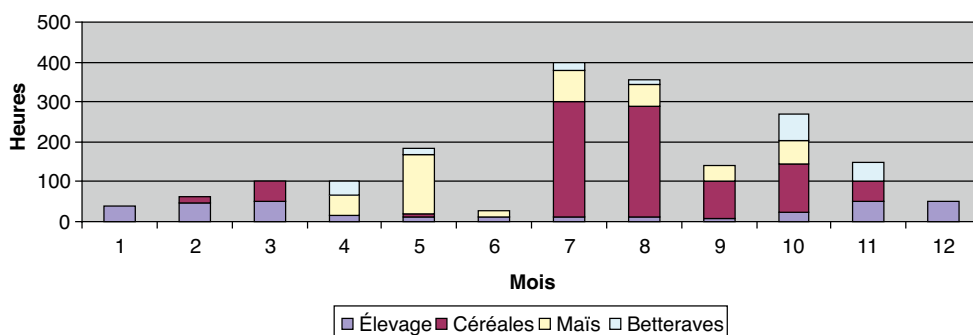
Matériels	Puissance requise (CV)	Hectares par heure	Litres/hectare	Litres/heure
Presse à balles rondes de 1 000 lb (453 kg)/enrubanneuse	60	3,0	3,3	9,9
Récolteuse-hacheuse à 2 rangs	105	1,4	12,5	17,4
Moissonneuse-batteuse à céréales de 20 pieds (6 m)	220	6,8	5,4	36,8
Moissonneuse-batteuse à céréales de 30 pieds (9,1 m)	275	10,2	4,5	45,9
Moissonneuse-batteuse à soya de 25 pieds (7,6 m)	275	7,4	6,2	45,9

Source : American Society of Agricultural Engineers Standards, 1999.

Liste non exhaustive, 1 pied = 0,3038 m ; 1 lb (livre) = 453 g ; 1 pouce = 2,54 cm ; 1 acre = 0,40 hectare.

Calculer les besoins pour l'ensemble de l'exploitation

À partir des calculs réalisés pour chacun des travaux et pour toutes les activités de l'exploitation (les différentes cultures et autres activités nécessitant l'utilisation du tracteur), on représente graphiquement sous forme d'un histogramme le besoin mensuel en heures de travail sur l'exploitation et pour une campagne (une année) avec le matériel de l'exploitation.

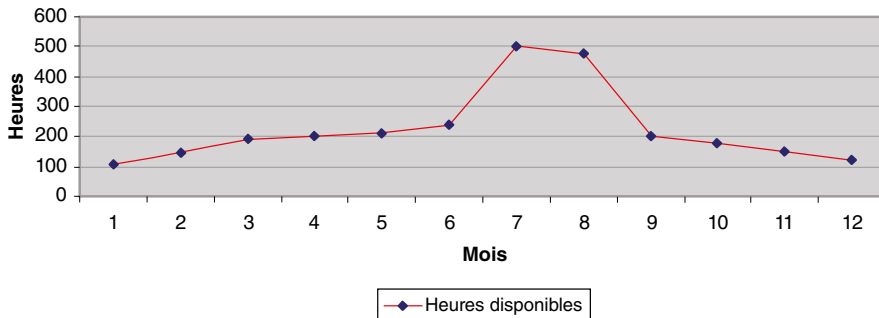


▲ **Figure 2.1** : Besoins en heures de mécanisation sur l'année.

Pour ce genre d'exploitation, l'histogramme met en évidence des périodes où les besoins du tracteur sont très importants : mai, juillet, août et octobre, qui sont des périodes de semis et de récoltes. Des périodes plus calmes se situent en avril et juin. On identifie ainsi les périodes de forte activité, dites pointes de travail.

Comparer les besoins en travail mécanisé calculé aux disponibilités de l'exploitation

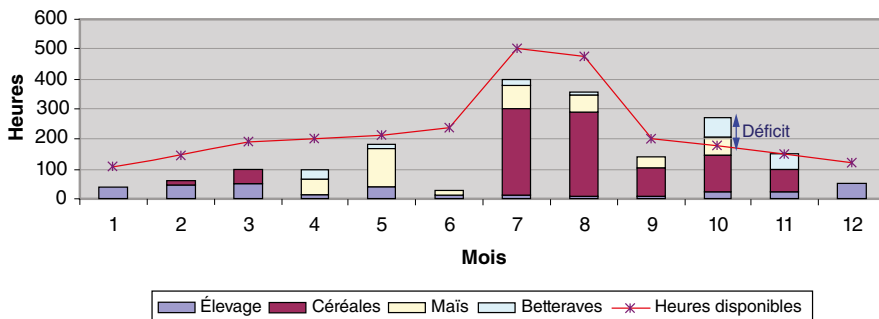
À partir de ces pointes de travail, on doit déterminer les possibilités de l'exploitation pour répondre à ces besoins. Il faut tenir compte de la main-d'œuvre et de la disponibilité du matériel, mais aussi entrevoir les disponibilités journalières de travaux extérieurs en fonction du climat (nombre de jours de pluie, de neige) et des types de sol qui seront plus ou moins praticables après les intempéries. Enfin, on devra estimer les jours indisponibles pour diverses raisons (cas de force majeure, jours fériés...). Le nombre réel de jours disponibles sur l'exploitation sera ainsi calculé. En se basant sur ce résultat, on détermine les heures disponibles en fonction de la saison (durée d'ensoleillement). Ce résultat peut être représenté par une courbe des disponibilités de l'exploitation.



▲ **Figure 2.2 :** Heures disponibles sur l'année.

Ce graphique permet de repérer les heures réellement disponibles sur l'année. Elles tiennent compte des conditions climatiques potentielles à venir, de la saison (jours longs), des jours non travaillés et du potentiel humain et matériel de l'exploitation.

En superposant les deux graphiques, on peut comparer les jours disponibles par rapport aux pointes de travail mensuelles (figure 2.3). Dans l'exemple, on constate que le mois d'octobre est la seule période de pointe qui est mal gérée mécaniquement et qui présente un déficit mécanique.



▲ **Figure 2.3 :** Besoins en heures de mécanisation sur l'année.

Envisager des solutions en cas de déficit mécanique

Les solutions à envisager seront de deux natures :

- améliorer son organisation au sein de l'exploitation ;
- investir dans un équipement matériel ou humain.

Réduire les besoins en heures de travail

- En augmentant les rendements de la mécanisation par hectare, ce qui entraîne une augmentation de la puissance du tracteur et la taille des équipements. Cette solution risque de suréquiper l'exploitation avec des équipements trop puissants et dont l'usage reste peu fréquent.
- En adoptant une simplification de l'itinéraire technique des cultures, notamment le travail du sol et le semis ; par exemple : pseudo-labour, semis direct, utilisation d'un combiné d'outil...
- En déplaçant, si possible, des travaux sur une autre période moins critique ; par exemple : choix de variété tardive ou précoce qui permet de différer le semis.

Augmenter occasionnellement le matériel et/ou la main-d'œuvre

- En faisant appel aux services :
 - d'une entreprise de travaux agricoles (ETA) sur une période déterminée,
 - d'une coopérative de matériel agricole avec ou sans chauffeur, comme les CUMA (coopératives d'utilisation de matériel agricole).
- En participant à un système d'entraide agricole.

Statuer sur une solution d'organisation ou d'investissement

Examinons les solutions offertes pour l'exemple proposé.

Sur la période d'octobre, environ 170 heures sont disponibles pour un besoin d'environ 280 heures. Le déficit est de : $280 - 170 = 110$ heures.

Pour ce genre d'exploitation, la période d'octobre correspond au travail du sol : labour, préparation du lit de semence, semis des prochaines cultures, mais aussi à la récolte du maïs et des betteraves. Si on considère les solutions envisagées :

- Augmenter les rendements de ces équipements utilisés sur cette période : l'investissement se portera sur les outils de préparation du sol, mais aussi sur les matériels de semis, de récoltes et donc sur un tracteur plus puissant. Dans ce cas, cette solution n'est pas satisfaisante car elle poussera l'exploitant agricole à se suréquiper avec un investissement trop important pour gérer un déficit positionné sur un seul mois de travail.

L'entretien et la mise en conformité

Entretien

Carburant

Stockage

- Stocker dans des cuves à doubles parois ou sur un radier pour éviter les écoulements par fuite de la cuve.
- Laisser décanter une journée le carburant livré.
- Placer les cuves dans un local aéré et loin des habitations.
- Purger la cuve tous les trois à cinq ans.

Alimentation du tracteur

- Nettoyer l'orifice du réservoir du tracteur.
- Faire le plein pour éviter la condensation de la vapeur d'eau contenue dans le réservoir.
- Ajouter si nécessaire un additif antifigeant en hiver.
- Remplacer les filtres du carburant, en purgeant le circuit.
- Ne pas réaliser d'intervention sur la pompe d'injection, appeler un professionnel.
- Faire vérifier et tarer les injecteurs.

Alimentation en air

- Nettoyer le préfiltre sans essence et le bol décanteur.
- Remplacer la cartouche du filtre régulièrement.
- Ne pas faire tourner le moteur sans filtre à air.

Circuit de refroidissement

- Nettoyer les alvéoles du radiateur.
- Vérifier le niveau du liquide de refroidissement.
- Compléter à froid si le niveau est trop bas. Penser à un liquide spécial hiver.

Lubrification moteur

- Vérifier le niveau d'huile à chaque utilisation.
- Compléter avec de l'huile recommandée par le constructeur.

- Faire la vidange de l'huile à chaud pour faciliter l'écoulement.
- Changer à chaque vidange son filtre à huile.

Transmission

- Vérifier le niveau d'huile régulièrement. Ne pas oublier le pont avant, les réducteurs.
- Refaire le niveau avec de l'huile recommandée par le constructeur.
- Faire la vidange régulièrement.
- Changer les filtres de transmission.

Circuit hydraulique

- Vérifier le niveau.
- Changer les filtres.
- Examiner les raccords, les flexibles et les tiges des vérins.
- Vidanger régulièrement.
- Maintenir propres les prises hydrauliques extérieures.

Relevage et attelage

- Remplacer les éléments abîmés, comme le troisième point, les goupilles, les axes...
- Maintenir les stabilisateurs en bon état.
- Surveiller l'usure des pièces de l'attelage.
- Graisser les pièces mobiles, ne pas oublier les différents graisseurs.
- Vérifier que la protection de la prise de force est en bon état.
- Graisser l'embout cannelé de la prise de force.
- Vérifier l'état du carter de protection du cardan.

Pneumatiques

- Vérifier le gonflage.
- Vérifier l'usure.
- Remplacer les pneumatiques usés et avec les bonnes dimensions.
- Nettoyer les pneumatiques à l'eau.
- Éviter le contact avec les hydrocarbures (fioul, essence, graisse...).

Circuit électrique

- Vérifier le niveau de charge de la batterie.
- Compléter l'électrolyte avec de l'eau déminéralisée si nécessaire.
- Nettoyer les cosses de la batterie.
- Ne pas débrancher une batterie quand le moteur tourne.
- Pour utiliser un poste à souder, débrancher d'abord la batterie et faites l'inverse pour rebrancher.

- Vérifier l'état de tension de la courroie de l'alternateur.
- Vérifier l'état de fonctionnement des systèmes de signalisation (feux, gyrophare...).
- Respecter l'ampérage des fusibles à changer.

Freins

- Contrôler la garde des pédales de freins.
- Contrôler le niveau de liquide.
- Avant de prendre la route, faire un test.

Mise en conformité

Conformité

La marque de conformité et le certificat de conformité sont obligatoires.

Normalisation et réglementation

La normalisation donne les règles et les moyens de mettre en œuvre des modifications afin que les engins soient à un niveau de sécurité conforme aux exigences fixées par les autorités nationales ou européennes. On peut, à partir de ces normes, mettre en conformité son engin selon par exemple la *figure 3.6*.

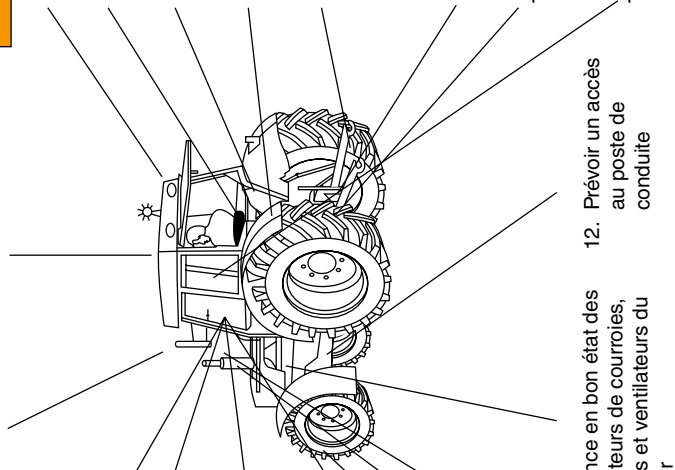
Il existe différents types de normes. Les principales sont :

- la norme française : Afnor (Association française de normalisation). Elle publie les normes proposées par le COP (Comité d'orientation et de programmation). Les propositions du COP viennent du travail des comités d'orientation stratégiques (COS) des différents secteurs d'activités ;
- les normes européennes, le CEN (Comité européen de normalisation) : c'est une association internationale composée des instituts de normalisation nationale des différents pays membres de la CEE. Elle élabore des documents techniques qui résultent d'accords après enquêtes nationales, devenant après un vote à la majorité, des normes européennes ;
- la normalisation internationale, ISO : c'est une organisation consultative internationale non gouvernementale. Elle regroupe les organismes de normalisation mondiale qui suivent leurs procédures. Chaque pays est représenté par un comité membre (l'Afnor pour la France). Son but est de faciliter les prestations commerciales entre les pays ;
- la réglementation : l'utilisation du tracteur doit être soumise aux règles fixées par le code de la route mais aussi par le code du travail.

Marque ou numéro :
 Année mise en service :
 Nom de l'exploitant :
 Code postal :
 Date de réévaluation :

2. Prévoir au minimum un rétroviseur extérieur et en bon état situé à gauche
3. Présence d'une structure de protection en cas de retournement (SPCR)

1. Information des opérateurs (présence d'une notice d'instruction, en cas de perte contacter le constructeur)
20. Les commandes au poste de travail doivent être visibles et facilement identifiables (fonction et mode de fonctionnement)
19. Prévoir un dispositif interdisant la mise en route du moteur lorsque la transmission est engagée, si cela est techniquement réalisable (précablage existant)
18. Présence d'un dispositif d'arrêt général au poste de conduite
17. Présence d'un avertisseur sonore (klaxon)
16. Prévoir une clé de contact pour la mise en marche du moteur
15. Les gaz d'échappement ne doivent pas être dirigés vers l'opérateur ou les zones d'aspiration de ventilation de la cabine
14. Prévoir une protection des systèmes d'échappement contre le risque de brûlure dans la zone d'accès à la cabine
13. Présence en bon état des protecteurs de courroies, poulies et ventilateurs du moteur
12. Prévoir un accès au poste de conduite
11. Flexibles hydrauliques (véhiculant de l'huile sous pression ou du produit phytosanitaire) protégés en cabine
10. Le système de freinage (service et stationnement) doit être en état de fonctionnement et efficace
9. Un bouclier fixe doit protéger la prise de force
8. Les systèmes d'attelage (bras de relevage inférieurs, troisième point, chevilles, goupilles, crochets, chapes, etc.) doivent être en bon état sans usure prononcée
7. Présence de garde-boue suffisamment enveloppants
6. Commande de relevage externe actionnable depuis un endroit non dangereux
5. Prévoir un siège en bon état
4. Prévoir un éclairage de travail pour le travail de nuit



RISQUES

- Renversement ou cabrage : absence de structure de protection : opérateur écrasé.
- Glissade lors de l'accès ou de la descente, tracteur en marche : opérateur écrasé par la roue.
- Transport de liers à de mauvais emplacement et chute : liers écrasés.
- Commande de relevage en dehors du poste de conduite : opérateur écrasé entre la machine et le tracteur.

En dessous de chaque paragraphe, notez « C » si le matériel est conforme ou « NC » s'il est non conforme. Notez aussi vos observations. D'autres éléments non mentionnés sur ce schéma sont peut-être à vérifier ou à modifier, pensez-y !

▲ **Figure 3-6** : Conformité du tracteur.

Comment utiliser une résistance ?

Résistance, limiteur de l'intensité dans un circuit

Dans un circuit alimenté par une génératrice de courant continu de tension $U = 5 \text{ V}$, on souhaite limiter l'intensité du courant I à 10 mA (milliampère). Pour cela, il est nécessaire de calculer la valeur de la résistance et la puissance qu'elle devra dissiper.

Dans cet exemple, la valeur de la résistance sera :

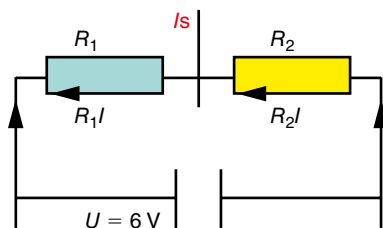
$$U = RI ; R = \frac{U}{I}, \text{ donc } R = \frac{5}{10 \cdot 10^{-3}} = 500 \ \Omega.$$

La valeur de la puissance sera :

$$P = UI = RI^2, \text{ donc } 500 \times (10 \cdot 10^{-3})^2 = 50 \cdot 10^{-3} = 50 \text{ mW}.$$

Résistance, diviseur de tension

D'après le montage de la *figure An2.1*, on souhaite déterminer U_2 , sachant que $R_1 = 100 \ \Omega$ et $R_2 = 50 \ \Omega$, pour une tension du générateur de $U = 6 \text{ V}$.

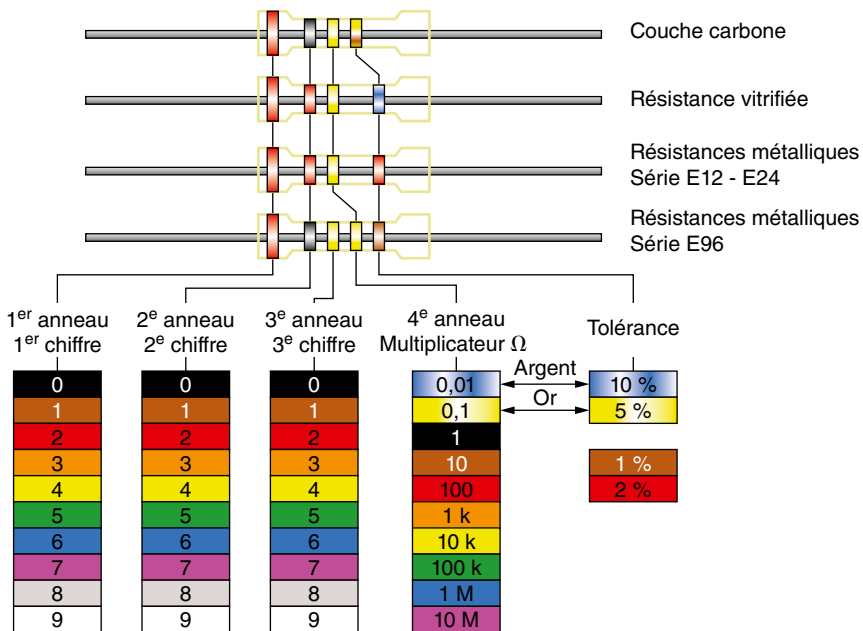


▲ **Figure An2.1** : Schématisation d'une résistance, diviseur de tension.

$$U = R_1 I + R_2 I ; U = I(R_1 + R_2) \text{ et } U_2 = R_2 I, \text{ donc } I = \frac{U_2}{R_2}.$$

Si on remplace I par $\frac{U_2}{R_2}$ dans $U = I(R_1 + R_2)$, on obtient : $U = \frac{U_2}{R_2}(R_1 + R_2)$, donc $U_2 = U \frac{R_2}{R_1 + R_2}$

soit
$$U_2 = 6 \times \frac{50}{100 + 50} = 2 \text{ V}.$$



▲ **Figure An2.2** : Code couleurs pour les résistances.

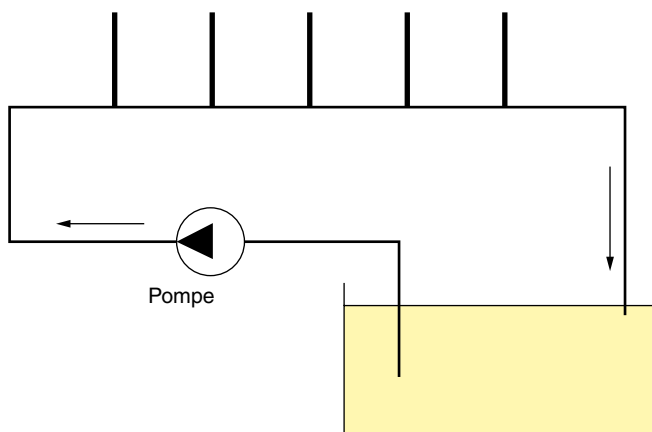
Les pertes de charge

Pour démontrer les pertes de charge, on peut réaliser le montage des figures An3.1 et An3.2.

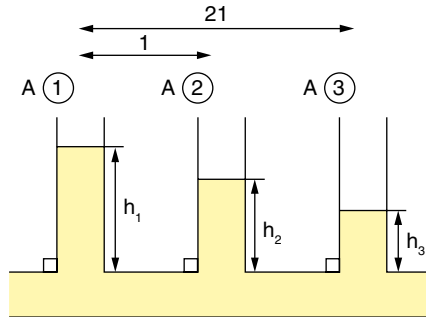
Montage expérimental

On fait circuler de l'eau (fluide) dans un tube cylindrique de diamètre constant, disposé horizontalement, et sur lequel on a adapté, à égale distance les uns des autres, des petits tuyaux transparents placés verticalement (jouant un rôle de piézomètre). La circulation est assurée par une pompe hydraulique. L'écoulement est laminaire et le débit constant (régime permanent), par exemple à $0,8 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$.

En mesurant les hauteurs d'eau dans les tubes 1, 2 et 3, on trouve par exemple : $h_1 = 22,5 \text{ cm}$; $h_2 = 22 \text{ cm}$; $h_3 = 21,5 \text{ cm}$.



▲ **Figure An3.1** : Montage visualisant les pertes de charge.



Tube PVC de diamètre intérieur de 15 mm.
Distance $A_1 A_2 = A_2 A_3 = 14$ cm.

▲ **Figure An3.2** : Hauteur d'eau selon les pertes de charge.

Observations

Les observations et les mesures indiquent qu'il y a une diminution de pression entre A_1 et A_2 , de même qu'entre A_2 et A_3 . En écoulement permanent, les hauteurs de h_1 et h_2 étant constantes, on met en évidence qu'une différence de pression constante s'opère entre A_1 et A_2 . En appelant P_{A1} et P_{A2} les pressions en A_1 et A_2 , ρ la masse volumique du fluide (ici de l'eau), on exprime cette différence de pression entre A_1 et A_2 par la relation suivante : $P_{A1} - P_{A2} = \rho \cdot g (h_1 - h_2)$.

La différence de pression $P_{A1} - P_{A2}$ est appelée perte de charge entre A_1 et A_2 . Celle-ci est proportionnelle à la viscosité du fluide. La perte de charge est ici peu importante en raison de la faible viscosité de l'eau. Elle est aussi proportionnelle à la distance entre les deux points ; en effet, la distance $A_1 A_2 = l$. On a $P_{A1} - P_{A2} = 0,5$ cm d'eau et pour la distance $A_1 A_3 = 2 l$, on a $P_{A1} - P_{A3} = 1$ cm d'eau = $2 (P_{A1} - P_{A2})$.

On peut définir la perte de charge linéique (sur la ligne), notée Ψ (psi), qui se calcule de la façon suivante :

$$\Psi = \frac{P_{A1} - P_{A2}}{A_1 A_2} = \frac{\Delta P}{l} ; \Psi = \frac{\rho \cdot g (h_1 - h_2)}{l}$$

Avec :

l : distance $A_1 A_2$.

ρ : masse volumique, en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

g : en $\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

h_1 et h_2 et l : en m.

Ψ : charge linéique, en $\text{Pa} \cdot \text{m}^{-1}$.

Comment choisir un tracteur en fonction :

- d'une exploitation agricole, de son activité et des besoins professionnels ;
- de critères techniques et économiques ?

Ce guide pratique répond à toutes les questions de ceux qui vendent, entretiennent ou utilisent des tracteurs :

- évaluation des besoins de la production agricole : ergonomie, puissance, fonctionnalités... ;
- gestion du financement de l'achat ;
- gestion des coûts d'entretien...

Illustré de nombreux schémas, il offre une analyse détaillée du fonctionnement d'un tracteur :

- motorisation ;
- mécanique ;
- électronique ;
- hydraulique ;
- automatisation ;
- normalisation et réglementation.

De plus, il permet de :

- modéliser et de maîtriser l'impact environnemental d'une machine agricole : par exemple, comment réduire sa consommation de gazole ;
- rentabiliser l'investissement d'une machine : maîtriser son rendement, réduire les charges variables opérationnelles...

Enfin, il présente les règles de sécurité essentielles à respecter lors de la conduite ou de l'entretien de la machine.

Ce livre est un guide complet, indispensable aux vendeurs, réparateurs et utilisateurs. C'est également un ouvrage de référence pour tous les étudiants en machinisme agricole.

*Ingénieur agro et professeur au lycée agricole de Clermont Ferrand, **Willy de Krem** enseigne les contenus fondamentaux concernant les machines agricoles aux élèves des bacs pro et des BTS.*