École d'Ingénieurs
De Changins et de Lullier

COMPARAISON TECHNICO-ECONOMIQUE ENTRE TRACTION ANIMALE ET MECANIQUE EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE

ET

POSSIBILITES DE REVALORISATION DE LA TRACTION ANIMALE DANS LE CONTEXTE AGRICOLE DU XXI^{e} SIECLE

Travail de diplôme rendu le 10 novembre 2006 en vue d'obtenir le diplôme d'Ingénieur HES en Agronomie, Productions Spéciales et Horticoles.

Proposants : M. Burdet Jean-Philippe
et M. Wirthner Jean-Pascal

Encadrement : M. Burdet J-P et M. Wirthner J-P

Étudiant : Udriot Mathieu, Filière APSH,
Volée 2003-2006

«À ma grand-mère, Agnès Udriot, née Jacquemettaz le 12 juin 1922 à Chandonne, dans la vallée d'Entremont, en Valais. »

- *Elle, qui connut toute sa vie durant, le travail quotidien avec l'animal, au service de l'homme,*
- *Elle, qui su apprécier, respecter et donner la vie,*
- *Elle, qui suivit avec joie et attention nos premiers essais en traction animale, souvenirs d'enfance à jamais gravés dans sa mémoire,*

«A toi, Agnès Udriot, qui nous a quitté paisiblement le mardi de Pâques, 29 mars 2005 , je te dédie ce travail en souvenir de tous ces liens qui nous ont unis et qui nous unissent encore, malgré la distance physique qui nous sépare, « maintenant »,

Au plaisir de te revoir, quand il le décidera…. »

Mathieu

* * * * *

Sommaire

1. Introduction 3
2. Étude bibliographique 4
3. Objectifs et conditions de réalisation des essais 35
4. Matériels et méthodes 40
5. Résultats 57
6. Analyse économique 75
7. Discussion 88
8. Conclusion 94
9. Références bibliographiques 97
10. Table des matières 101
11. Annexes 104

Remerciements

- Tout particuliers à mon père, pour son soutien permanent et sa précieuse collaboration, sans qui ce travail n'aurait jamais pu être réalisé de cette manière.
- À ma mère, pour son soutien et ses encouragements de tous les jours.
- À M.Pierre-Alain Indermhüle et M. Laurent Tornay ainsi que leurs épouses respectives, pour avoir mis à disposition certaines parcelles de leur domaine ainsi que pour leur collaboration indispensable et très enrichissante.
- À Mme Nicole Chavaz pour ses précieux conseils en matière de statistique.
- À Mme Murielle Pott et Mme Elizabeth Zamboni pour la relecture du travail.
- À M. Nicolas Luisier, pour l'aide apportée à la préparation et à l'élaboration de cette étude.
- À M.Jean-Pascal Wirthner pour ses conseils et son encadrement.
- À toutes les personnes, qui ont œuvré, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.
- Enfin un clin d'œil à « Cannelle », jument de trait et « collègue de boulot », pour sa collaboration et sa docilité au travail.

…….Une pensée pour M.Jean Nolle, inventeur de la « houe sine » et du « kanol » réunis sous le porte-outils « kassine », par l'association française PROMMATA…...

1. Introduction

Depuis une cinquantaine d'années environ, la mécanisation de l'agriculture a relégué la traction animale au rayon des vieilleries folkloriques désuètes, (GIRAULT, 1992). Toutefois, dans les pays industrialisés occidentaux, l'utilisation de la traction animale, a permis le développement et l'évolution des populations et des sociétés par l'allègement énergétique et temporel de certaines tâches qui mobilisaient une force humaine importante. Toutefois, malgré le fait que la puissance musculaire d'un homme ne représente que le dixième de celle d'un cheval de trait, l'énergie humaine demeura indispensable à l'économie européenne, jusqu'au X^{e} siècle environ, pour des raisons de moyens techniques insuffisants (outils, harnachements archaïques, technique de travail…)(GIRAULT, 1992).

Dès le XI^{e} siècle, l'amélioration des techniques de transports et l'utilisation d'énergie naturelle (hydraulique, éolienne..) a permis de libérer une main d'œuvre importante (GIRAULT, 1992) nécessaire à l'évolution et à la modernisation des sociétés. En Europe, au XIX^{e} siècle et au début du XX^{e} ce phénomène s'accélère et l'utilisation de l'énergie animale est à son apogée. (LIZET, 1996) À la ville comme à la campagne, la traction animale, plus particulièrement le cheval, est omniprésent. Il est employé pour transporter voyageurs et marchandises, tracter les voitures légères et les omnibus, tirer la charrue, la herse et sert également pour actionner la meule du moulin. Il demeure l'un des rouages les plus importants de l'économie de l'époque (LIZET, 1996). Pour les générations précédentes, l'animale de trait représente un témoin nostalgique d'une époque à tout jamais révolue.

Au fil de l'évolution de l'humanité, comme nous le verrons dans cet historique sur l'utilisation de la traction animale, ce sont surtout les moyens techniques mis en œuvres qui ont évolué, pour « capter » et transformer l'énergie animale, permettant ainsi de l'utiliser de manière toujours plus efficace et rationnelle.

L'objectif premier de ce travail de diplôme est donc de comparer la traction animale (plus spécialement la traction équine), avec la traction mécanique, dans le contexte socio-économique du XXI^{e} siècle, et de déterminer dans quelles conditions, elle pourrait représenter une alternative technique et économique à la motorisation. Pour des raisons de temps et d'organisations pratiques, nous limiterons l'expérience aux cultures biologiques dites «spéciales»; un essai viticole en production biologique et deux essais en culture de plantes aromatiques et médicinales, en zone montagne.

Dans un premier temps, nous dresserons un historique, non exhaustif, de l'utilisation et de l'évolution technique/zoologique de la traction animale, plus particulièrement celle du cheval ; de la domestication de l'espèce jusqu'à la fin du cheval de trait au sein de l'économie européenne. Nous nous attarderons un peu plus sur l'évolution des harnachements et des techniques d'attelage durant la période du X-XV^{e} siècle ; ceci afin de comprendre comment la traction animale a pris un tel essor depuis le moyen âge jusqu'au XIX^{e} siècle, pourquoi a t'elle presque totalement disparu de nos campagnes après la deuxième guerre mondiale, pour enfin nous pencher sur sa revalorisation potentielle, dans le contexte agricole du XXI^{e} siècle.

La deuxième partie de cette recherche bibliographique, en relation avec les essais prévus, portera sur la problématique de la gestion de l'enherbement permanent en viticulture biologique, ainsi que de ses influences sur la vigne d'un point de vue agronomique et œnologique.

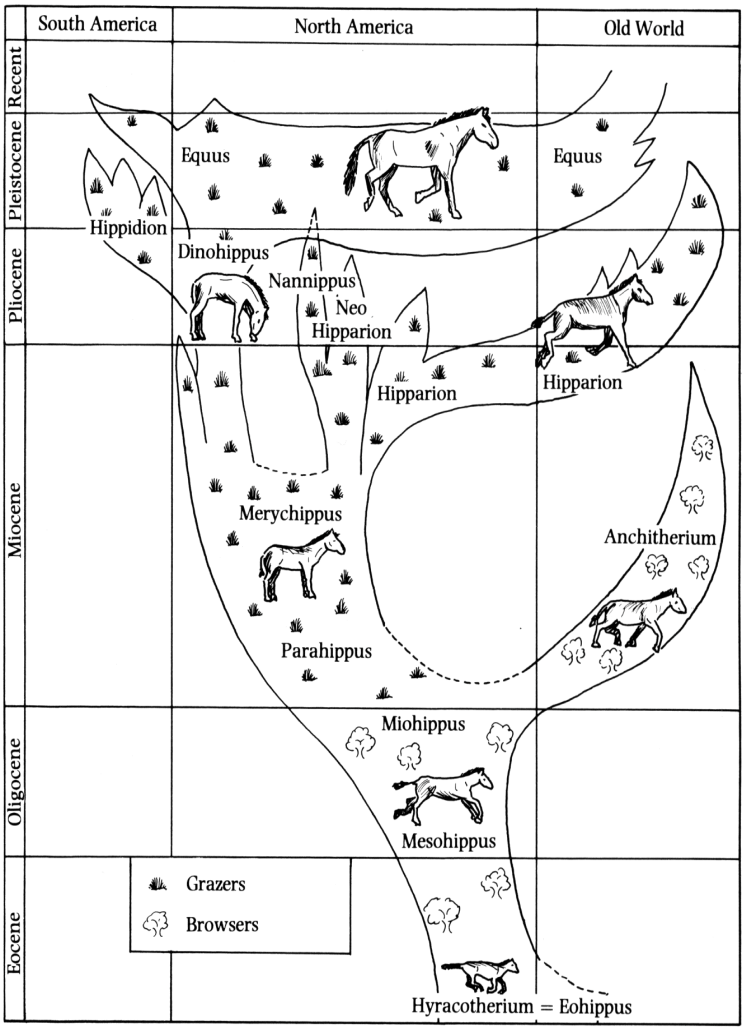
Enfin, nous aborderons la culture des plantes aromatiques et médicinales de montagne, en Suisse, plus précisément en Valais, sous les aspects historiques et agronomiques, avec la problématique de la gestion des adventices en relation avec le coût de la mécanisation et de la taille des parcelles.

2. Étude bibliographique

2.1 Historique de la traction animale : de la domestication du cheval à nos jours

2.1.1 Origine et évolution de l'espèce

Le genre *Equus,* le cheval actuel (*Equus caballus*), issu d'une ligné évolutive, apparaît sur le continent américain à la fin de l'ère du pliocène. Il fait partie de l'embranchement des vertébrés, la classe des mammifères, l'ordre des périssodactyles, la famille des équidés, du genre *Equus* et du sous-genre *caballus.*(BATAILLE,2002).

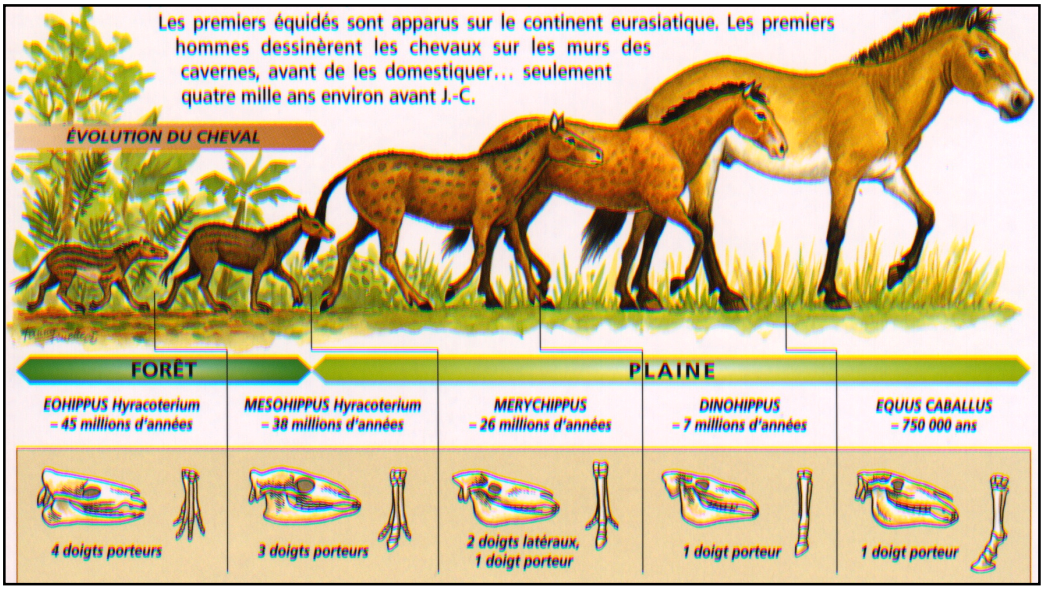


1992)

L'histoire passionnante de l'origine du cheval a pu être reconstitué grâce à de nombreux squelettes bien conservés dans des gisements d'origines géographiques variés. (LIZET, 1996). Ainsi, l'ancêtre le plus lointain de l'espèce actuelle, connu à ce jour est représenté par le petit *Eohippus hyracoterium* de l'éocène. De la taille d'un renard aux mœurs forestières, ce mammifère primitif est commun aux autres équidés (ânes, zèbres, et hémiones qui font partie de la même famille des équidés) (BATAILLE,2002) et selon certains auteurs, aux tapirs et aux rhinocéros. (CLUTTON-BROCK, 1992; LIZET, 1996)

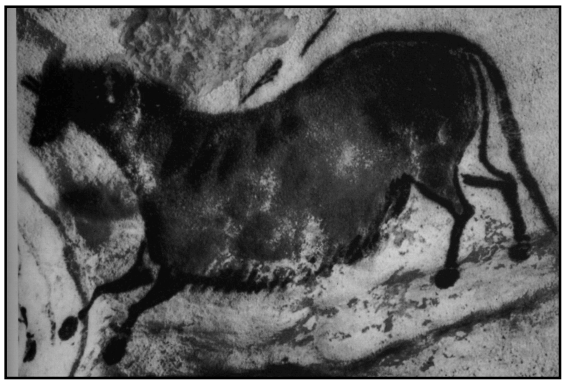
1. Figure : Evolution de l'espèce Equus caballus (CLUTTON-BROCK,

Pendant cinquante-cinq millions d'années, cet ancêtre subit de profondes modifications physiologiques et morphologiques. En effet, issu des écosystèmes forestiers à l'origine, il perdra petit à petit ses doigts (pour n'en conserver qu'un), augmentera sa taille et sa dentition en relation avec son nouveau régime alimentaire (herbes et graines) et développera un comportement de fuite très marqué, témoin de son statut de proie.



2. *Figure : Modifications physiologiques et morphologiques de l'espèce Equus caballus (BATAILLE,2002)*

Toutes ces évolutions lui permettront finalement, de s'adapter aux savanes ouvertes, vastes prairies ou la fuite est le seul garant de sa survie contre les redoutables prédateurs (LIZET,1996 ; BATAILLE,2002). Il envahit rapidement, l'Afrique, l'Amérique du Sud et l'Eurasie, puis disparaît définitivement d'Afrique et du continent américain... En Eurasie, les grandes glaciations du quaternaire semblent avoir favorisé les formes de taille moyenne au détriment des types plus grands qui avaient prospéré auparavant. Cette sélection naturelle, aurait finalement abouti à deux sous-espèces distinctes représentées par le tarpan (*Equus ferus gmelini Antonius)* et le cheval de Przewalsky (*Equus ferus Przewalsky Poljakoff*) tous ancêtres de nos chevaux actuels.



3. *Figure :peintures représentant les chevaux de la préhistoire, sur les parois de la grotte de Lascaux (LIZET,1996)*

Durant la préhistoire, ces deux espèces occupaient une aire de répartition très vaste couvrant la presque totalité de l'Europe et de l'Asie. Malgré certaines différences d'ordre morphologiques (crinières dressées, ganache hérissée de longs poils, silhouette massive et trapue), entre ces chevaux primitifs et les races de « chevaux modernes », certains traits de comportements sociaux comme l'esprit grégaire très poussé, la formation d'une hiérarchie stricte au sein du groupe et l'instinct de fuite sont restés très ancrées dans les gènes (CLUTTON-BROCK, 1992 ; LIZET, 1996).

4. *Figure : le cheval de Przewalsky (Equus ferus Przewalsky) et le tarpan (Equus ferus gmelini Antonius, deux ancêtres de nos chevaux actuels (CLUTTON-BROCK, 1992)*

2.1.2 De la domestication à l'Antiquité

Passion permanente de l'homme, pour le cheval, l'origine de sa domestication reste un thème controversé, malgré les recherches importantes à ce sujet. On pense que les premières tentatives de domestication se situent entre 3500 et 2000 ans avant J.-C. (WERMEILLE, 1995 ; LIZET, 1996). Bien après celle du mouton, de la chèvre, du porc, des bovins et du chien (env. 3000 ans plus tard). Auparavant les hommes chassaient les chevaux qu'ils trouvaient en abondance autour d'eux, ce qui ne rendait pas indispensable son élevage par l'espèce humaine. Ces premiers éleveurs semblaient habiter les steppes du nord du Caucase et pratiquaient déjà l'élevage des bovins. Ces premières traces laissent supposer que les ancêtres des chevaux actuels étaient élevés pour leur viande et leur lait (LIZET, 1996).

Un peu plus tard, le cheval a accompagné les peuples dans leurs migrations et leurs conquêtes, et des civilisations se sont entièrement édifiées sur lui. Vers 1800 avant J.-C, semble-il, les nomades eurasiens attelaient déjà des chevaux à leurs chars de guerre (LIZET, 1996). Chez les Égyptiens, c'est vers 1650 ans avant J.-C que les premiers véritables harnachements, constitués de larges courroies, firent leur apparition (WERMEILLE, 1995). Les Assyriens, puis les Grecs furent également des éleveurs réputés. Les Romains quant à eux, par passion pour les sports et les jeux hippiques, laissèrent une trace indélébile de l'élevage chevalin, par leurs fameuses courses de chars dont le plus grand champ de course (Circus Maximus) mesurait 600 mètres de longueur et 150 mètres de large(WERMEILLE, 1995).

Peu à peu, au travers des civilisations, l'élevage chevalin évolue. Vers le V^{e} siècle après J.C., le fonctionnement de la poste impériale romaine est soigneusement contrôlé et des mesures répressives sont exécutées en cas de mauvais traitements et de surcharge de voitures, car, contrairement au bœuf et à l'âne, sa viande n'était consommée qu'en cas de misère ou de famine, les chevaux étaient donc « économisés » en conséquence (LIZET, 1996).

5. *Figure : Jeune cavalier Grec, coupe grecque du V^{e} siècle avant J.C. (LIZET, 1996)*

Quelques siècles avant l'an mille, vers le VII^{e} siècle de notre aire, sur les hauts plateaux sauvages et arides d'Arabie, les populations de bédouins, éleveurs nomades de moutons, se mirent à l'élevage de chevaux. Sans se douter du rôle capital que ces derniers allaient jouer dans les décennies à venir, une nouvelle race aux qualités exceptionnelles prenait naissance sous l'impulsion de Mahomet : le pur-sang arabe. Entre temps, les Vikings, les Mongols, puis les Turcs étaient reconnus comme étant de grands peuples cavaliers et ont également contribué à l'évolution de l'élevage chevalin jusque vers les années 1650 après J.-C (WERMEILLE, 1995). On remarque donc, combien, au gré des civilisations, les chevaux, fer de lance des grandes invasions, ont joué un rôle capital dans l'histoire de l'Antiquité (Alexandre le Grand, Marco polo et tant d'autres)

2.1.3 Du Moyen-Âge au XIX^{e} siècle, vers l'apogée du cheval de trait

Si l'histoire des chevaux et de leurs attelages séduit les historiens et les archéologues, peu de choses a été écrit sur le rôle que les bovins ont joué dans le transport et le travail des champs comparativement aux équidés, animaux plus prestigieux et plus nobles utilisés pour la chasse et la guerre par les seigneurs. En effet, les bœufs étaient le plus souvent affectés aux labours et aux charrois (basses besognes, du paysan et des pauvres gens de l'époque).

Cependant cette situation ne reflète pas la réalité puisque la population de bovins était bien supérieure à celle des équidés (d'après certaines fouilles effectuées dans la région parisienne). De plus beaucoup de chevaux périssaient dans les sanglants combats de l'époque (environ 500'000 chevaux tués entre 1805 et 1815). D'une manière générale, les bovins bœufs étaient alors principalement utilisés dans les régions pauvres (Bretagne, Saône-et-Loire) tandis que dans les riches plaines limoneuses, ce furent les équidés qui prirent une place plus importante. Grâce à son poids, généralement supérieur à celui du cheval, le bœuf était capable de tirer des charges plus lourdes mais sur une durée plus courte (six heures de travail contre huit pour le cheval). Le cheval plus rapide pour les transports, était toutefois réservé aux routes en bon état. Si elles étaient défoncées et irrégulières c'est le bœuf qui prenait l'avantage. De plus les bovins étaient moins chers à l'achat et à l'entretien et fournissaient, en plus du travail, du lait, de la viande et des veaux.

(GIRAULT, 1992).

Toutefois, en Europe occidentale, dans la première partie du VIII^{e} siècle, la découverte des étriers, va grandement accroître l'efficacité des troupes de cavalerie. De la pratique professionnelle de la guerre, l'aristocratie féodale était né. L'apparition de cette noblesse s'accompagne de nouvelles formes culturelles et d'une nouvelle forme de pensée étroitement lié au nouveau mode de combat ainsi qu'à la nouvelle hiérarchie sociale.

En effet, l'aptitude à connaître et à conduire des chevaux est peu à peu ressentie comme un trait culturel, transmis par hérédité, spécifique à la caste des chevaliers. Pendant près de trois siècles, la classe sociale des grands guerriers conserve le monopole quasi absolu, mais une autre révolution économique et sociale se prépare, dont l'aboutissement sera la généralisation de l'utilisation du cheval dans l'agriculture suite à une série d'innovations des techniques (LIZET, 1996). Toutefois, de la fin de l'Empire Romain jusqu'au Xe siècle, nous ne savons pas grand-chose de l'histoire et des techniques d'attelage/traction (SIGAUT, 1982 ; GIRAULT, 1992). En ce qui concerne le cheval et son utilisation il faudra attendre le XIe siècle afin qu'il soit représenté dans l'iconographie de l'époque et paradoxalement, nous sommes mieux renseignés sur l'Antiquité que sur le haut Moyen-Âge. Et c'est précisément pendant cette période obscure, que le collier d'épaule, tel que nous le connaissons

actuellement, a pris forme en Europe, alors que la sellette, la sous-ventrière, l'avaloire et l'invention les traits souples faisaient leur apparition.

(GIRAULT, 1992).

Cependant, avant de continuer notre historique sur la traction animale et sur l'évolution des différentes techniques de harnachements et d'attelages du Moyen Age au XIX^{e} siècle, nous allons nous arrêter quelques instants sur certaines définitions et notions de base qu'il est bon de connaître, afin de mieux comprendre ces évolutions techniques qui nous ont mené jusqu'à ce jour.

Quant on parle d'attelage au sens de la traction animale, c'est par définition, l'art de capter et d'utiliser la force animale, par l'intermédiaire d'un lien souple appelé harnais, afin de déplacer une charge (voiture, traîneau, bois pour le débardage et instruments agricoles ou autres). (LECOINTE, 2002).

Pour l'époque, la pratique du charroi, transport de marchandises sur les routes, au moyen de véhicules à traction animale, était chose courante à l'époque pour :

- pour les transports agricoles
- les échanges commerciaux, les foires et les marchés
- la corvée, pour transporter les matériaux nécessaires à la construction du château, des remparts ou de la cathédrale

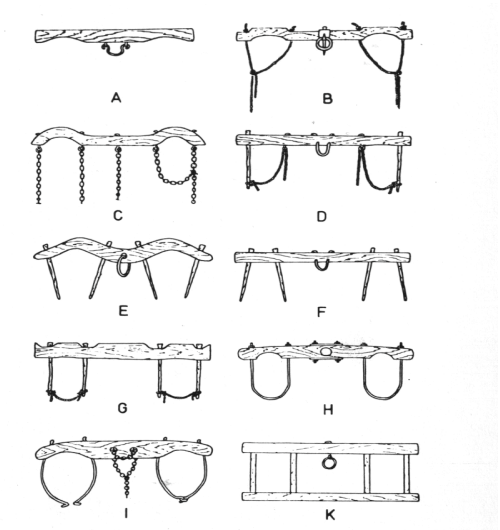
6. Figure : Scène de charroi au Moyen Age. (LIZET, 1996)

Ainsi le rôle de l'attelage de l'époque, outre les travaux des champs, est de permettre aux animaux de soutenir le véhicule (dans le cas d'une charrette à un essieu), le tirer vers l'avant ou le reculer, le diriger en suivant les ordres donné par le conducteur.

Un attelage se compose d'un ou plusieurs tractionneurs (terme utilisé pour la traction animale désignant des animaux attelés servant à tracter une charge) qui peuvent être des équidés (chevaux, mulets et ânes) ou des bovidés (boeufs, vaches et zébu). On peut également utiliser, d'autres espèces comme le renne (pays nordique), le chameau (zones arides) et le chien selon les zones du globe et selon les moeurs et coutumes locales. Ces animaux peuvent êtres attelés seuls, en paire, en ligne (également appelé tandem) ou en quadrige (quatre chevaux de front). Il est également possible de mélanger ces différents styles (attelage de plusieurs paires en ligne pour tirer les diligences par exemple). Dans le cas des équidés, les bêtes sont dirigées au moyen d'un mors actionné par le biais de rênes (cavalier) ou de guides (conducteur d'attelage). Les bovins, quant à eux, sont commandés à l'aide d'un aiguillon au moyen duquel on les touche sur l'épaule opposée à la direction qu'on veut qu'ils prennent (GIRAULT, 1992).

En fonction du système de traction, l'effort peut prendre appui (GIRAULT, 1992) :

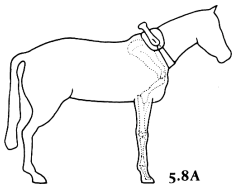
- sur les épaules, au moyen d'un collier rigide protégé par un rembourrage qui permet d'éviter les blessures par frottement. c'est le système le plus évolué et utilisé en traction lourde pour les équidés, quelques fois pour les bovidés
- sur la poitrine, au moyen d'une bricole (large courroie) qui reçoit la poussée du poitrail et qui représente le système le plus employé avec les équidés en traction légère (charrettes, voitures hippomobiles..)
- sur les cornes, au moyen d'un joug de corne dans les cas d'une paire, d'un jouguet si le tractionneur est attelé seul ; c'est le système le plus employé avec les bovins, le joug est alors fixé aux cornes au moyen de longues courroies, un coussinet étant intercalé entre le joug et le front
- sur l'encolure, au moyen d'un joug ou d'un jouguet, d'encolure maintenu en place par une sangle

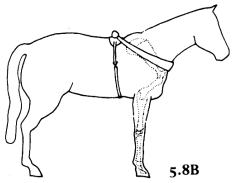


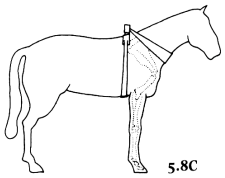
7. *Figure : Divers types de jougs pour atteler en paire (GIRAULT, 1992).*

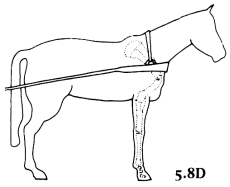
Quant au système de traction, il s'effectue soit (GIRAULT, 1992) :

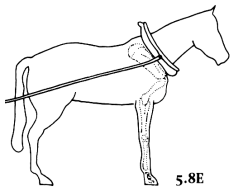
- directement sur le timon ou les limonières (synonyme de brancard), système qui n'est pas sans inconvénient pour l'animal qui subit tous les à coups du roulage
- au moyen de traits courts reliant le collier à l'extrémité des limonières. système qui a l'inconvénient de refermer ces dernières sur le tractionneur causant une gêne
- au moyen de traits longs reliant le collier aux limonières ou à la charge par le biais d'un palonnier ou non, à la hauteur de l'arrière-train de l'animal











8. Figure : Evolution des techniques de 'harnachement (CLUTTON-BROCK, 1992)

Pour les véhicules à deux roues, le timon ou les limonières sont soutenus (GIRAULT, 1992) par :

- un joug de cornes ou d'encolure
- une sellette dans le cas de la traction par collier ou par bricole

La marche arrière du véhicule est obtenu par l'action des tractionneurs (GIRAULT, 1992) :

- directement sur le timon au moyen du joug ou par l'intermédiaire d'une chaînette reliant l'extrémité du timon au collier.
- sur les brancards, au moyen de deux chaînes de reculement reliant ceux-ci à une avaloire (large sangle qui prend appuie sur les fesses du limonier)

Il est important de noter, que le rendement de traction du collier est indiscutablement supérieur à celui de la bricole ; mais c'est surtout le coût qui influence l'achat, étant donné la fabrication sur mesure, donc plus onéreuse, du collier comparativement à la bricole qui peut servir pour plusieurs animaux (GIRAULT, 1992).

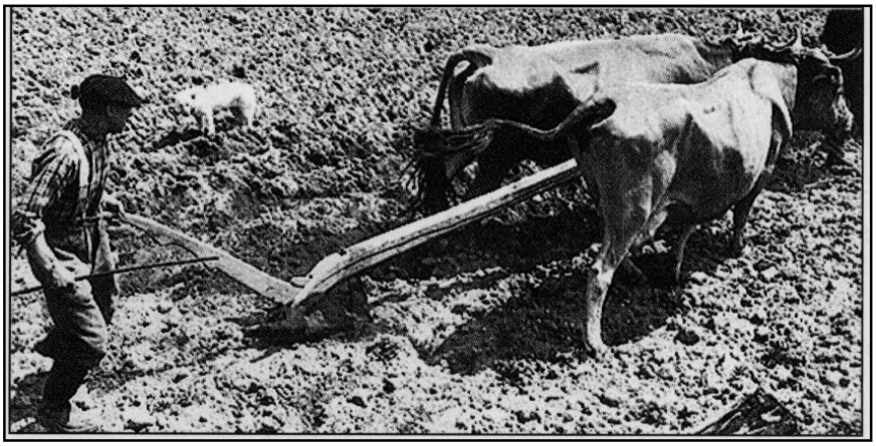
Ainsi, après ce bref aperçu des différentes techniques d'attelage, on constate qu'il existe une multitude de façons d'atteler des animaux selon l'espèce, la nature du travail et les habitudes. Toutefois certains principes physiques généraux restent d'actualité. Notamment en ce qui concerne la charge qu'un animal peut tracter et qui dépend (GIRAULT, 1992) :

- principalement du poids des tractionneurs
- de l'énergie qu'il est capable de développer, en particulier au démarrage, mais également dans les situations difficiles (côtes, passages délicats), déduction faite des pertes par frottements dus aux imperfections du véhicule et de la chaussée (dans le cas où la charge est un véhicule)
- de la qualité du harnachement, et de son degré de perfectionnement, qui permettent de transmettre, plus ou moins bien, la force animale à la charge à déplacer
- de la nature et de la durée de l'effort
- enfin de l'état du sol sur lequel l'animal évolue

Force est de constater que le point le plus important est l'aspect-poids de l'animal (qui faisait défaut au Moyen Age comme nous le verrons plus loin). En effet c'est par l'inertie du poids que le tractionneur tire. En d'autres termes plus le cheval est lourd, plus il dispose d'énergie pour démarrer la charge et l'arracher dans les passages difficiles. L'animal tire donc plus avec son poids qu'avec ses muscles. La force musculaire n'intervient que pour porter le corps et la part de la charge qui est reportée sur celui-ci (dans le cas des véhicules à un essieu), permettre la détente nécessaire au démarrage et empêcher la chute par le mécanisme de marche. Cependant, si l'effort musculaire est disproportionné, intense et prolongé, le travail devient anormal et épuisant ; le cheval sue exagérément et s'essouffle (GIRAULT, 1992).

Mais revenons à notre historique sur l'évolution des techniques d'attelage et de traction. Comme nous l'avons vu au début de ce chapitre, l'apparition précise des techniques de harnachements modernes reste floue en Europe et bien que son principe fût déjà connu des Égyptiens et des Chinois entre 1500 et 800 avant J.-C., ce n'est que vers le début du XII^{e} siècle, dans nos contrés, que sont apparus le collier d'épaule et les traits souples, tels que nous les connaissons aujourd'hui. Avant leur découverte, c'est le plus souvent le système joug d'encolure avec bœufs et araires qui étaient utilisés, système apparu vers 3500 à 3000 avant J.-C., adapté et répandu plus tard sous la forme de charrue.

9. *Figure : Système de joug d'encolure avec bœufs et araires. (Soltner, 2002)*



Avant le XI^{e} siècle, les semences étaient simplement jetées sur le sol après un ou plusieurs passages à l'araire. La généralisation du collier d'épaule et des traits souples, permis alors la nouvelle pratique agricole du hersage, dont les anciens systèmes d'attelage (joug d'encolure ou de corne) ne convenaient plus (GIRAULT, 1992). L'adoption de cette nouvelle pratique a permis de semer plus vite (aspect important pour les climats du nord de l'Europe) dans de meilleures conditions et à meilleurs coûts. Avec la pratique du hersage, l'importance des chevaux, s'accroît dans l'agriculture, car contrairement à la charrue, la herse travaille par sa vitesse, ce qui fait de la rapidité d'allure du cheval une supériorité déterminante.

Les bœufs ne servent alors plus qu'à labourer, quelques mois par an et sont petit à petit remplacés par les chevaux de trait qui peuvent ainsi travailler à peu près toute l'année (SIGAUT, 1982).

10. Figure : Instruments aratoires tractés par des chevaux au XV^e siècle (GIRAULT, 1992).

11. Figure : Attelage au XVI^e siècle avec un harnachement presque complet, les reculements ne sont pas figurés et les limonières sont attachées directement au collier (GIRAULT, 1992).

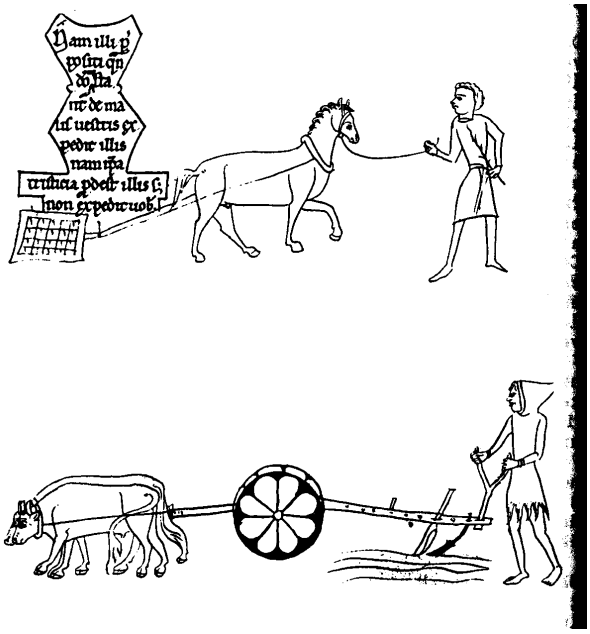
Suite aux perfectionnements des harnais, des chariots (essieux antérieurs mobiles, freins) on remarque, entre le XIII^e et le XIV^e siècle, l'apparition progressive du palonnier (LIZET, 1996). Le palonnier est une pièce (de bois ou de métal), généralement droite, quelques fois cintrées, fixée d'une part, par ses extrémités, aux deux traits, d'autre part, en son centre, au véhicule ou à l'outil. Il permet au cheval d'avoir des mouvements indépendants de la masse tractée puisque l'effort de traction s'exerce sur le véhicule en un seul point. Il transforme ainsi une traction bilatérale alternative en une traction axiale continue. Son apparition a permis une utilisation plus rationnelle des chevaux par deux et plus en ligne ou de front.

(GIRAULT, 1992).

De fil en aiguille toutes ces inventions et améliorations accroissent les échanges commerciaux et modifient non seulement la qualité du travail mais également les mœurs et coutumes. En effet, parallèlement à ces évolutions techniques et suite à l'utilisation du cheval dans l'agriculture (vers le X^e siècle), les paysans du Nord abandonnent l'assolement biennal au profit du système triennal, améliorant ainsi le calendrier des travaux agricoles. Par ce fait, les cultures fourragères destinée aux chevaux (foins et avoines) ne rentrent plus en compétition avec les cultures de céréales vivrières, permettant un accroissement de la population, avec comme conséquence, un défrichement important de forêts et de marécages.

On peut donc raisonnablement penser que dès le milieu du Moyen Age, le cheval n'est plus la propriété exclusive de la caste des chevaliers, mais demeure également un compagnon de labeur pour les populations rurales (LIZET, 1996). Ainsi, bien que certains milieux nobles de l'époque soient réticents à l'utilisation du cheval dans l'agriculture, dès la fin du Moyen-Âge, il va progressivement remplacer le bœuf dans les champs et sur les routes.

Malgré un coût d'entretien plus élevé que celui du bœuf (d'où sa progression et ses reculs en période de crise ou de guerre (SIGAUT, 1982)) et sa concurrence pour la population vis-à-vis des céréales, le cheval est plus résistant que ce dernier, qui travaille une à deux heures de moins par jour. Mais surtout, cette tendance va permettre d'accomplir les travaux de préparation du sol plus rapidement qu'avec la traction bovine, efficacité déterminante dans les pays du Nord au climat incertain. (LIZET,1996).



12.Figure :Labours et hersage à la fin du XIIe siècle (GIRAULT, 1992)

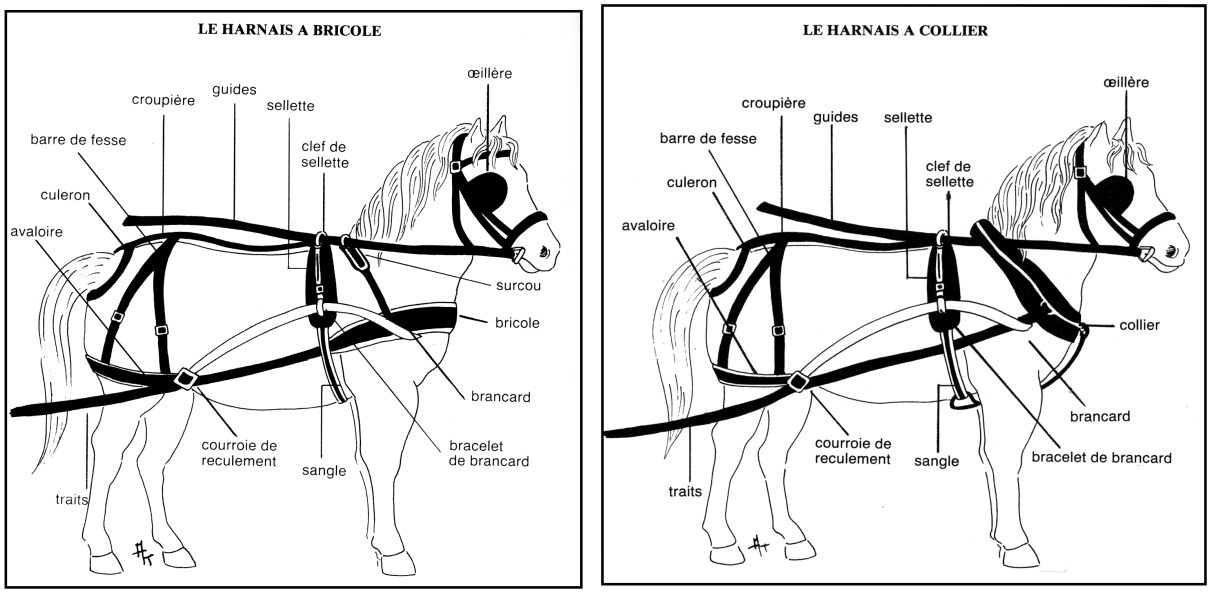
Concernant la question de l'apparition du ferrage des chevaux, son invention, selon certains, reviendrait aux Celtes (LIZET, 1996), tandis que d'autres contestent, cette hypothèse (le ferrage serait apparu après la naissance du christ). Quoi qu'il en soit, il semble établi que dans l'Antiquité, l'utilisation d'hipposandales (semelle en fer munie de quatre ou six crochets permettant son attache par le biais de lanières en cuir) était connue mais qu'elle ne permettait pas, semble-il, d'avoir un bon appui pour le tirage, étant donnée que malgré l'attache le sabot glissait sur la semelle métallique. Elles devait avoir plutôt rôle thérapeutique (GIRAULT, 1992) et l'apparition précise de cette pratique n'est pas clairement établie. Cependant, ce qui est sûr, c'est qu'au Moyen Age le ferrage existait réellement, car des textes du IX^{e} siècle mentionnent les fers et les clous en tant qu'équipement du cavalier (GIRAULT, 1992).

Cependant, les premiers fers à bord ondulés sont légers et petits (moins de 200gr, 8 à 11 cm de large sur 10 à 12 cm de long) et correspondent à ceux des fers de nos poneys (ce qui confirme une fois de plus hypothèse selon laquelle les chevaux de l'époque étaient de petite taille). À titre de comparaison, les fers des chevaux de trait actuels mesurent de 16 à 19 cm de largeur sur 16 à 18 cm de longueur pour un poids de 7 à 800 gr/pièce (GIRAULT, 1992).Remarquons toutefois, que les chevaux et les poneys appartiennent à la même espèce, « Equus caballus » arbitrairement divisés en deux catégories d'après la taille. Les animaux ayant moins de 147 cm au garrot sont classés dans la deuxième catégorie (BATAILLE, 1994).

Plus près de chez nous, certaines races, qui vivent dans des régions au climat rude (landes, marécages) et géographiquement isolé (îles ou montagne), sont restés primitives d'un point de vue morphologique et ont conservé leur petite taille. C'est le cas, notamment, du pottock Basque (110 à 120 cm pour 200 kg), de l'Haflinger (132 à 140 cm au garrot) et du welsh (112 à 122cm au garrot) pour ne citer que quelques exemples. (GIRAULT, 1992)

Toutefois, malgré la taille relativement modeste des équidés de l'époque, on distinguait, vers l'an 1265, plusieurs catégories de chevaux suivant leur taille et les emplois auxquels ils étaient destinés. On pouvait trouver :

- le destrier qui était un grand et fort cheval de bataille et de joute
- le coursier, confondu avec le cheval de lance, était légèrement inférieur en taille au précédent et répondait en campagne aux exigences de la cavalerie légère
- le palefroi et la haquenée étaient, pour la douceur de leur allure, des chevaux de dame ou pour le voyage
- le roncin, comme nos bidets, était des bêtes de marche et de bât
- enfin, les chevaux de labours qui occupaient la dernière place, du genre « vilain »



13. Figure : Harnachement moderne actuel (LIZET, 1996).

Si comme le montraient les figurations, les grands destriers étaient de taille inférieure à celle de nos chevaux d'aujourd'hui, combien plus petits devait être les roncins et les chevaux de labours, animaux de basse besogne. C'est un fait qui est maintenant reconnu, la taille des chevaux, dans l'Antiquité, n'excédait pas 125 à 130 cm au garrot pour un poids vif voisin de 250 à 300 kg (GIRAULT, 1992). L'armature métallique d'un joug d'encolure découverte à Lyon, en 1975, ne laisse aucun doute sur la taille des chevaux auxquels elle était adaptée. Ceux-ci ne mesuraient pas plus de 125 cm au garrot. C'est là une des causes de l'insuffisance de l'attelage antique ; des chevaux de petite taille et de faible poids. Paramètre essentiels, qui limitaient fortement la charge totale potentiellement tractable. C'est vers le XIII^{e} siècle qu'on comprit que c'est par son poids que l'animal tire la charge. On a donc cherché, dans un premier temps à alourdir artificiellement le poids du tractionneur par de lourds harnachements ainsi que par le chevauchement des limoniers (cheval placé dans les limonières).

Suite à ces nouvelles « connaissances » il semblerait que les chevaux subirent une légère augmentation de leur taille en raison de facteurs biotiques favorables (alimentation quantitativement et qualitativement supérieure, âge de la mise au travail, croisements et sélections naturels ou dirigés de façon empirique, orientation de la sélection…). En effet, si l'on classe les figurations de cavaliers, des sceaux de l'époque, suivant la position des pieds des hommes par rapport au sol ou par rapport aux genoux et à la poitrine des chevaux, on constate plusieurs choses. D'une part, au XI^{e} et XII^{e} siècles, les pieds des cavaliers sont près du sol ; approximativement vers les genoux des chevaux dans la première moitié du XIII^{e} siècle et, au niveau de leur poitrine, dans la seconde moitié du XIII^{e} siècle et au XIV^{e}.

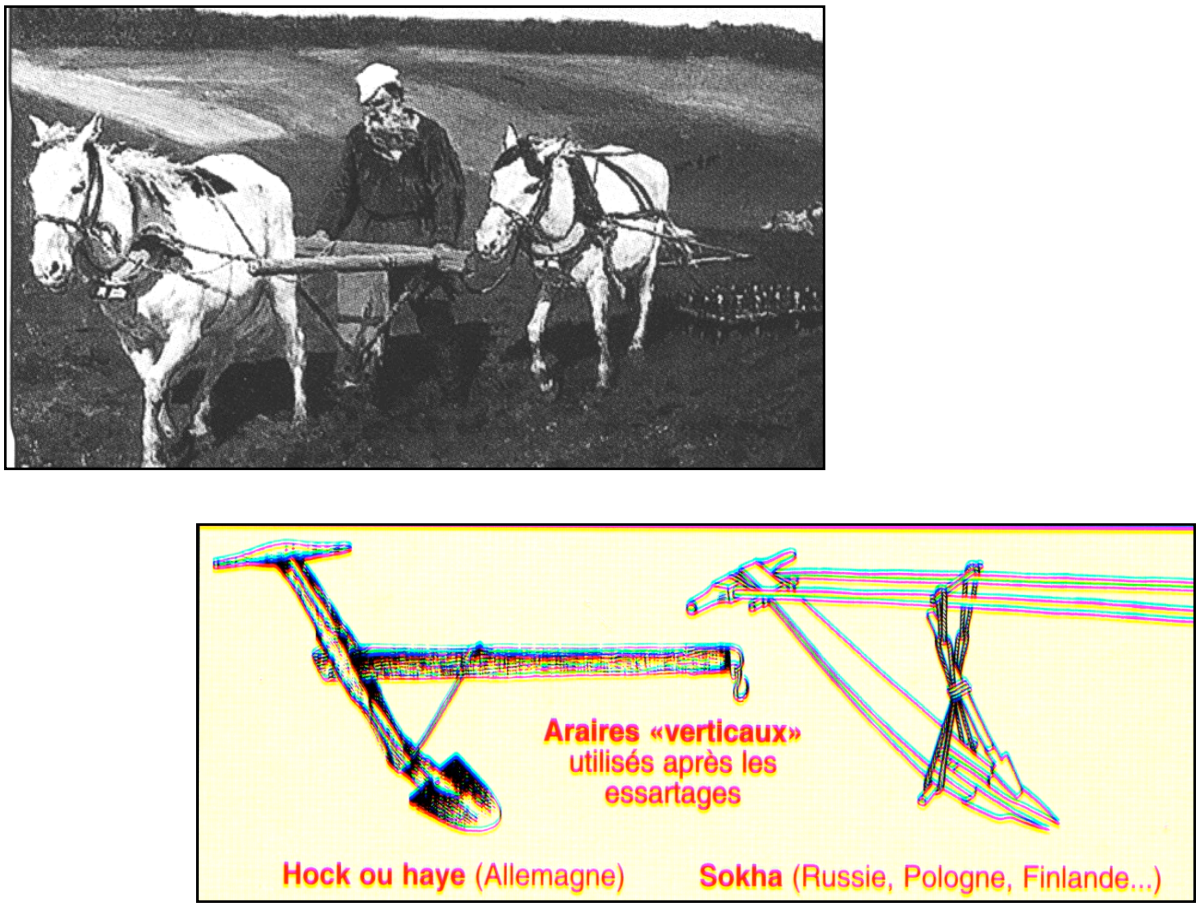
Cependant au cours des trois siècles qui suivirent, la négligence de l'élevage et la consanguinité furent la cause d'un abâtardissement des races dû à de mauvaises conditions climatiques ainsi que l'impact négatif des grandes pestes sur le développement de l'agriculture et des échanges commerciaux (orientation vers des animaux de bât). Cette situation s'inverse au cours du XVII-XVIII^{e} et surtout au XIX^{e} siècle quand l'on commença à réagir par la création des haras et par l'importation d'étalons étranger ramenant ainsi un sang nouveau (GIRAULT, 1992).

En effet, avant 1830, la majorité des routes sont des chemins de terre impraticables pendant une partie de l'année et tout le monde se déplace à pied ou à cheval. Ces conditions ont favorisé la sélection de petits chevaux, légers (également dénommé bidets) pour le bât et la selle, sobre, nerveux et résistant à la fatigue. Toutefois, ces conformations physiques ne répondent, plus aux besoins de l'armée, des transports et de l'agriculture en pleine révolution. Il est clair qu'avec un animal de ce type, il paraît illusoire de tracter les charrues brabant dans les lourdes terres argileuses. Seuls les plus pauvres, à défaut de se procurer des bœufs, se contentaient d'utiliser ces types d'équidés. (SIGAUT, 1982).

On peut ainsi dire que le passage des bœufs aux chevaux, pour l'agriculture et les transports, est en réalité celui d'une situation initiale dans laquelle existe un double cheptel (bovidés pour les travaux agricoles et petits chevaux pour les transports et la guerre) à une situation où il n'existe plus qu'une seule espèce de travail et de transport, constitué uniquement de chevaux de trait. L'abandon des bovidés au profit des chevaux a ainsi permis d'utilisation plus rationnelle et une meilleure rentabilité du cheptel de trait, permettant une économie de travail évidente.

Cependant, sans l'innovation, apparemment insignifiante du hersage et de la généralisation des techniques d'attelage moderne (collier d'épaule et traits souple), il n'y avait aucune raison que l'Europe, à la différence de toutes les autres régions les plus développées d'Eurasie, n'en reste pas au double cheptel bœufs et chevaux.

En effet, vers le XIX^{e} siècle, pendant qu'en l'Europe de l'Ouest l'emploie des chevaux de trait se généralise et qu'on s'efforce d'alourdir ces derniers par la sélection, plus à l'Est, vers la Russie, il semble que cette transition s'est effectuée plus tôt dans l'histoire (début VI^{e}) tout en gardant des chevaux de petits formats (120/130 cm au garrot). En effet, l'emploi du cheval, pour le travail du sol, s'est fait naturellement grâce à l'utilisation traditionnelle de la « sokha » à brancard (outils aratoires entre l'araire et la charrue caractérisée par la structure bifide de la pièce travailleuse), qui, après quelques modifications et évolutions, travaillait les sols légers de Russie (Les fameuses terres noires au Sud de Moscou.) sur une profondeur de sept à huit cm pour une largeur de trente-sept cm environ (SIGAUT, 1982).



14. Figure : Travail à la Sokha en Russie (Soltner,2002)

On comprend dès lors, que la force de traction nécessaire n'exigeait pas « des chevaux lourds » et que par conséquent, des modèles de chevaux plus petits et plus rapides que les bovidés ont été utilisés plus tôt qu'à l'Ouest où l'on trouve des terres plus lourde à travailler (SIGAUT, 1982). On constate donc à quel point la nature du sol influence directement le type de culture, les techniques culturales utilisés ainsi que le type d'animal de trait employé (BLOT, 1951)

En Suisse, à cette même période, on observe, une nouvelle orientation de l'élevage chevalin. La menace de guerre sur tout l'ancien continent a pour conséquence de donner un essor extraordinaire à l'élevage chevalin par de nouveaux croisements débouchant sur la création de nouvelles races en Europe. Dès lors, la cavalerie autrichienne, prussienne, anglaise et russe s'assurèrent grâce à leurs haras, une remonte satisfaisante (WERMEILLE, 1995). Il est donc important de constater que cet intérêt croissant pour l'amélioration de l'espèce chevaline était essentiellement dû aux besoins toujours plus importants de l'armée en chevaux de selle.

Concernant les chevaux de trait dans l'agriculture suisse, il faudra attendre la seconde moitié du XIXe siècle pour obtenir des chevaux type « lourd » (grâce à des croisements avec des étalons orientaux). Cette nouvelle orientation permettra de répondre aux nouveaux besoins de la mécanisation d'une agriculture en pleine révolution avec l'apparition de machines demandant toujours plus de force (faucheuses, moissonneuse lieuse, charrue brabant) et d'un réseau routier toujours plus développé (GIRAULT, 1992).

La civilisation rurale a dès lors atteint son apogée et les échanges commerciaux entre la ville et la campagne s'intensifient avec comme conséquence un phénomène

d'urbanisation sans précédent. À Paris, en 1870 on compte 75'000 chevaux et 100'000 vingt ans plus tard. Le cheptel équin ne cesse de s'accroître et devient un des rouages essentiels de l'économie (LIZET, 1996)

2.1.4 Le XX^{e} siècle ou la fin du cheval de trait

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, on observe, aux alentours du XI^{e} siècle, mais surtout à partir du XIX^{e}, un remplacement généralisé des bovidés par la traction chevaline dans l'agriculture et les transports. Cette tendance, qui s'accélère au XX^{e}, aurait sans doute abouti au remplacement total des bovins, si la mécanisation et la motorisation de l'économie, dans les années 1950, n'était pas venues mettre de l'ordre en les éliminant tous les deux (SIGAUT, 1982).

15. Figure : A la ville à la campagne comme dans les mines, le cheval fait partie intégrante de l'économie du XIX^{e} siècle (LIZET, 1996)

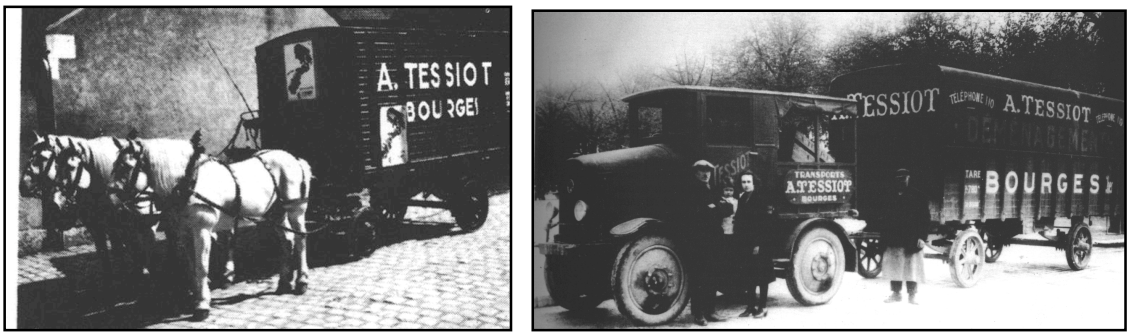
En Angleterre, de 1500 à 1700, on assiste à une « *chevalisation* » de l'économie Anglaise (y compris l'agriculture) comparable à la motorisation du XX^{e} siècle tandis que d'autres régions comme l'Ouest et le Midi de la France ne suivront cette tendance que bien plus tard. (THIRSK, 1978)

Cependant, ce phénomène de « *chevalisation* » de l'économie, qui atteint son apogée au XIX^{e} début XX^{e} siècle, va faire place à une autre tendance, plus importante cette fois. La mécanisation et la motorisation des transports dans un premier temps, puis, de l'agriculture dans un second temps. Toutefois, cette révolution ne s'est pas faite du jour au lendemain, mais graduellement sur pratiquement un siècle d'histoire au fur et à mesure de certaines circonstances et événements qui ont marqué le XX^{e} siècle.

En effet, suite à l'avènement de la première guerre mondiale, il se crée une pénurie de chevaux et de main d'œuvre ce qui incite les agriculteurs à se mécaniser ; plus particulièrement les grosses exploitations. Cette mécanisation va permettre de travailler plus vite et plus longtemps, augmentant de ce fait les rendements, et va permettre une économie importante de main d'œuvre abaissant, de surcroît, le prix de revient de la production (LIZET, 1996 ; BLOT, 1951). En France, dans la région de la Beauce, en 1916, on estimait qu'un tracteur de type « Mogol 16 » pouvait remplacer trois chevaux pour des labours moyens (BLOT, 1951).

16. Figure : Utilisation du cheval dans l'armée suisse (WERMEILLE, 1995).

Toutefois, les mentalités sont longues à transformer et de nombreux agriculteurs répugnent à changer leurs chevaux contre un tracteur dans la première partie du XX^{e} siècle. Ce n'est pas encore la disparition totale du cheval de trait, qui reste, du moins jusque vers les années soixante un auxiliaire précieux de l'armée et de l'agriculture en pleine mutation (Causes : la cherté des carburants, des lubrifiants et le coût élevés des réparations BLOT, 1951, WERMEILLE, 1995). C'est donc surtout dans le secteur des transports (marchandises et personnes), dans la première partie du XX^{e} siècle, que le cheval perd de l'importance par l'abandon des véhicules hippomobiles dans les centres urbains, (WERMEILLE, 1995 ; CHARLET, 1982).



17. Figure : Motorisation des transports au XX^{e} siècle (LIZET, 1996)

Ainsi, avant la seconde guerre mondiale, le transport des matériaux et des produits de toute nature (fumier, fourrage, récolte..) représentait en moyenne 40 à 50% de l'énergie totale dépensée dans une exploitation agricole (GIRAULT, 1992). C'est dire l'importance, encore forte, de la force animale (chevaux, bœufs, mulets et ânes) dans l'agriculture. Vers la fin des années quarante début des années cinquante, les campagnes se mécanisent et l'on voit apparaître des râteaux fanes, des chargeuses, des botteleuses, des faucheuses à traction animale avec moteurs axillaires. (BLOT, 1951 ; LIZET, 1996 ; WERMEILLE, 1995).

Cependant, cette complémentarité ne durera pas et pour se faire une idée de l'agriculture de l'époque, sur un domaine de grande culture d'avant la deuxième guerre mondiale, dans la région parisienne, les travaux pouvaient être classés en deux catégories (CHARLET, 1982) :

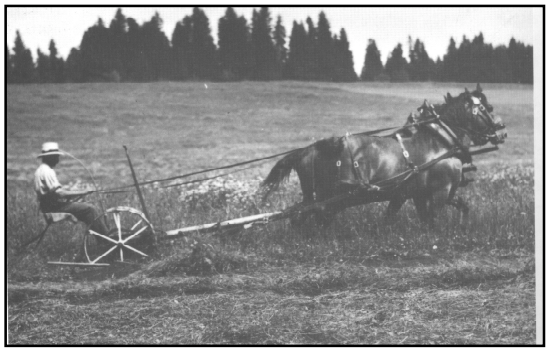
- les travaux lourds représentés, par les labours à betterave et à avoine, le passage de gros cultivateurs à dents et des rouleaux « croskill », le retournement des luzernières, la reprise et l'acheminement par chariots des betteraves (quatre tonne par char, du champs à la route), du champ vers les sucreries ou vers les dépôts (reprise par chemin de fer et plus tard par les camions)
- les travaux légers, dont les semis, les binages, la fauche des foins et certains transports plus légers

Dans la région de la Beauce vers la fin des années quarante, un attelé de trois chevaux comptabilisait 43 heures de travail contre 18, pour un tracteur de 30 CV lors de semis d'un ha de blé après luzerne (préparation du sol jusqu'aux semis).

Toujours à la même époque, un autre exemple qui illustre bien les limites et la fin de la traction animale, en relation avec la taille des exploitations grandissantes, est représenté par une ferme de la Beauce de 400 ha, entièrement motorisée et mécanisée qui comprend dix ouvriers. Cette même surface cultivée en traction animale avec les moyens techniques de l'époque aurait dû mobiliser quarante chevaux conduits par 25 ouvriers. On comprend dès lors que l'utilisation du cheval de trait, même avec un prix de revient horaire plus faible qu'un tracteur de 35 CV « Mack-Cormick » de l'époque (262,5 francs français de l'époque, contre 336,55 par heure de travail effectif) ne correspondait plus aux structures socio-économiques croissantes du XXe siècle (BLOT, 1951).

En effet, l'inconvénient majeur du maintien de l'ancien système de production autarcique, était le faible rendement horaire de travail qui représentait un frein majeur à l'augmentation des salaires. De plus la part des surfaces agricoles utiles (SAU) mobilisés pour la production fourragère destinée aux animaux de trait (luzerne, avoine, praires), diminuait la surface de culture de rente nécessaire à une population en expansion (CHARLET P., 1982).

Dès lors, après la deuxième guerre mondiale, le processus irréversible de la disparition des chevaux de trait, déjà amorcé depuis un siècle environ (invention de la machine à vapeur par « James Watt » en 1870 puis adaptation à l'agriculture), s'accélère fortement (WERMEILLE, 1995 ; LIZET, 1996).



18. Figure : après la deuxième guerre mondiale, l'agriculture se motorise et se mécanise (WERMEILLE, 1995).

Ainsi, à la fin du conflit, en plus des facteurs limitants cités ci-dessus, les chevaux deviennent rares, coûtent cher (la ration journalière d'un cheval de trait en Beauce, au XX^{e} siècle, se composait de 13.5 à 14.5 Unité Fourragère Cheval (UFC) soit un total de 14-16 kg de foin et de 8 kg d'avoine),(BLOT, 1951). Beaucoup décident de s'équiper en tracteurs et autres engins motorisés, accentuant le phénomène d'exode rural pourtant déjà bien entamé dès le XIX e. Les populations de chevaux s'effondrent dans tous les pays industrialisés qui se mécanisent (LIZET, 1996).

Alors qu'avant la guerre, l'Europe comptait plus de quarante millions de chevaux pour 820'000 tracteurs, en 1955, on comptabilisait 29 millions de chevaux pour 3,3 millions de tracteurs, ce qui montre bien l'importance et l'ampleur de la révolution (WERMEILLE, 1995).

Cette tendance se généralise également en Suisse où la motorisation s'empare définitivement et irréversiblement de l'agriculture. À la fin de la deuxième guerre mondiale, le marché chevalin helvétique s'effondre. Des poulains vendus 2000 fr. pendant le conflit se négociaient à 700 fr après la guerre. L'agriculture suisse subit alors une nouvelle orientation vers l'élevage des bovins. « Au dialogue entre l'homme et l'animal se place la machine, puis le moteur ; les gestes ancestraux du paysan qui tient sa bête à la bride est remplacé par une main sur une clé de contact. »(WERMEILLE, 1995).

Cependant, avec cette nouvelle « révolution agricole » qu'est la mécanisation et la motorisation de l'agriculture, tout n'est pas si rose. En effet, il ne faut pas perdre de vue qu'avec la chute des effectifs du cheptel de trait, c'est également la fin de nombreux métiers comme les bourreliers, les selliers, les charrons, les maréchaux-ferrant, les charretiers, les cochers, les étalonniers et autres métiers en relation avec les équidés. Une difficile période d'adaptation et de recyclage commence pour tous ces artisans qui seront tours à tour mécaniciens, carrossier, chauffeurs. (LIZET, 1996 ; BLOT, 1951).

Ainsi, outre les problèmes et modifications profondes liées au remaniement parcellaire et à l'assolement traditionnel (plus de chevaux, plus d'avoines, de betteraves fourragères et autres plantes fourragères et vivrières nécessaire à nourrir les ouvriers et les animaux de trait) c'est donc aussi un problème social que pose le développement de la traction mécanique (LIZET, 1996).

Toutefois, vers la fin du XX^{e} siècle, ce « bouleversement agricole » s'apaise et les effectifs des chevaux de trait se stabilisent vers les années 80 où le nombre de saillie, en France, n'a pas baissé par rapport à celui de 1979. Ceci peut partiellement s'expliquer, par l'événement des chocs pétroliers des années septante, à la cherté du matériel agricole et aux incertitudes du marché. En cette fin de millénaire, nombreux sont ceux qui s'interrogent sur l'avenir de leur exploitation et cherchent des alternatives pour diminuer les frais de production.

2.1.5 Le retour du cheval de trait au XXIe siècle, possibilités de revalorisation

Ce qui était considéré, il y a peu de temps encore, comme un refus du progrès et une démarche passéiste réservée à quelques illuminés, retrouve de plus en plus de raisons d'être. En effet, à l'heure où la rationalisation et l'industrialisation extrêmes de l'agriculture sont les maîtres mots, de nombreuses conséquences négatives nous sont apparues ces dernières décennies, comme le chômage croissant, l'exode rural, l'inflation, les perspectives pessimistes d'approvisionnement énergétique, la surproduction agricole, l'endettement excessif dû à la mécanisation, le gaspillage des ressources non renouvelables et la pollution des écosystèmes. (POUSSET, 1994, KEILLING, 1997). Tous ces phénomènes nous montrent les faiblesses et les limites du système économique actuel et nous obligent à nous resituer quant à l'évolution de ce début de millénaire. Depuis une dizaine d'années, en réponse à cette réalité et à la recherche de solutions alternatives, la traction animale, en France notamment, redevient, dans certains cas bien précis, un outil de travail en agriculture. Son utilisation permet, entre autres, de travailler en préservant les milieux fragiles et les zones humides car d'une façon générale, elle respecte la structure du sol. Elle s'avèrerait également bien adaptée aux conditions de montagne en particulier lorsque les parcelles sont fortement accidentées et peu accessibles. (GIRAULT, 1992 ; WERMEILLE, 1995 ; LIZET, 1996 ; PIACENTINO, 1999 ; BEAUDOIN et BOURGOIN, 1996). De plus comme tous systèmes vivants, le cheval est multifonctionnelle. En plus de la force de traction qu'il peut fournir en utilisant des ressources de l'environnement local, il produit de la matière organique (fumier…), de la viande, et, par le pâturage, il contribue à l'entretien d'un paysage (JANS et RYDBERG, 2001)

Ce retour, certes modeste, démontre que le cheval pallie les inconvénients et insuffisances de la traction mécanique. Notamment lorsque le coût des tracteurs et des machines représente une charge onéreuse pour l'installation ou le fonctionnement de petites à moyennes exploitations où l'endettement pour la mécanisation représente une issue souvent fatale, par manque de surface pour rentabiliser l'investissement(les besoins additionnels d'un cheval comme les outils, le harnais, et les soins humain, sont relativement limités, JANS et RYDBERG, 2001). Il ne s'agit donc pas, de renoncer aux progrès de la mécanisation, mais il semble que son utilisation pourrait apporter des solutions viables et efficaces là où les engins motorisés montrent des limites techniques, écologiques et/ou économiques. (MARCEL, 1992 ; WERMEILLE, 1995 ; LIZET, 1996 ; PIACENTINO, 1999 ; BEAUDOIN et BOURGOIN, 1996)

Attention toutefois à ne pas tomber dans un idéalisme utopiste poussé à l'extrême en pensant réintégrer complètement la traction animale ; il existe en effet une forte interdépendance entre le choix de la technologie et le contexte dans lequel elle fonctionne. Ainsi, l'utilisation intégrale de la traction animale, et plus particulièrement des chevaux, dans le contexte énergétique du 21^{e} siècle demanderait une telle consommation d'énergie, qu'à niveau de vie égale cela serait tout simplement impossible(JANS et RYDBERG, 2001). Il serait complètement illusoire et irréfléchi de raisonner de cette façon. Cependant, une répartition réaliste et ingénieuse avec la mécanisation, permet d'utiliser de façon rationnelle et efficace les deux systèmes de traction en rentabilisant ainsi au mieux les investissements.

De plus en agriculture biologique, la traction animal s'inscrit dans une dynamique et une logique globale qui dépasse le simple travail agricole. Selon VEZ (1994), ce système de production est plus qu'une simple technique agricole, c'est aussi une conception de société dont certains principes échappent à la logique scientifique et en contestent certaines pratiques mettant en évidence les dérapages de l'agriculture conventionnelle intensive. On est loin de l'image passéiste du refus de tout progrès et

de repli sur soi qui colle encore trop souvent à ceux qui ont choisi la traction animale (LIZET, 1996 ; PIACENTINO, 1999 ; KEILLING, 1997 ; WERMEILLE, 1995)

Malheureusement, aujourd'hui le principal problème pour ceux qui désirent revaloriser cette source d'énergie, consiste à trouver du matériel moderne et rationnel. En effet, depuis une quarantaine d'année environ la recherche sur la traction animale a peu évolué, considéré comme marginale, sans intérêt économique pour ne pas dire inutile ; c'est souvent la récupération, l'adaptation d'anciennes machines qui prévalait (LIZET, 1996). Cependant, la situation évolue et des associations de passionné se sont créées pour revaloriser l'image de la traction animale, plus précisément celle des chevaux de trait, elles proposent des stages d'initiation, et de formation en la matière avec de nouveaux outils modernes et ingénieux basés sur le système de porte-outils polyvalents.

En effet, dans certains pays en voie de développement, la traction animale joue et peut encore jouer un rôle important alors qu'on les pousse bien souvent à s'équiper et à se mécaniser, de façon parfois inconsidérée, alors qu'ils n'ont pour la plupart, même pas les ressources énergétiques et économiques pour faire tourner et entretenir des tracteurs (ROCCIER, 1982). Il n'existe malheureusement pas de recettes universelles toutes prêtes et chaque situation, qui possède ses spécificités propres, demande à être analysée de façon individuelle ; ceci afin d'optimiser les investissements financiers et temporels pour valoriser au mieux le potentiel existant

2.1.6 L'utilisation du cheval en forêt : utopie ou réalité économique ?

Actuellement, en France par exemple, on dénombre une vingtaine de débardeurs professionnels (bien plus en Belgique et en Allemagne) travaillant régulièrement, pour des raisons de gestion rigoureuse de la forêt ainsi que pour des raisons éthiques et écologiques.(LIZET, 1996) Le but, n'est pas de chercher à opposer le tracteur au cheval, mais plutôt d'essayer de trouver une complémentarité et une synergie positive dans la répartition du travail, notamment dans les zones sensibles demandant une protection accrue au niveau des sols et de la régénération.

En ce sens, le débardage du bois à l'aide de chevaux et plus particulièrement le jumelage cheval/tracteur au débardage, présente de nombreux avantages mais aussi des inconvénients par rapport à l'utilisation exclusive des engins forestiers (BEAUDOIN et BOURGOIN, 1996 ; WERMEILLE, 1995).

L'utilisation du cheval de trait dans la gestion des écosystèmes forestiers permet entre autres :

- de limiter grandement les dégâts aux arbres et aux sols (tassement) (PIACENTINO, 1999 ; ROCCIER, 1982) et d'assurer une très bonne protection des jeunes arbres et des sols dans les zones sensibles (BEAUDOIN et BOURGOIN, 1996 ; ROCCIER, 1982)
- une plus grande souplesse et une maniabilité sur le terrain, plus particulièrement dans les peuplements serrés de moins de vingt ans (coupe d'éclairci), dans les zones accidentées et sur les terrains à forte rétention en eau constamment humides ; trois situations ou l'intervention d'engins forestiers s'avère difficile voire impossibles sans impacts négatifs sur l'environnement (PIACENTINO, 1999 ; ROCCIER, 1982)

- un coût global moins élevé pour des bois de moyenne valeur ou de petite à moyenne surface, comparativement au débardage par hélicoptère très onéreux et non rentable dans ces conditions. (LIZET,1996)

- un gain de temps et une diminution des efforts physiques pour les travailleurs forestiers lorsque les machines sont utilisées de façon simultanée avec les chevaux (BEAUDOIN et BOURGOIN, 1996).
- réduction sensible de la consommation de carburant (utilisation plus judicieuse des énergies fossiles), d'où une certaine rentabilité de la traction animal. (ROCCIER, 1982)
- un faible investissement du capital traction (animaux et matériel) par rapport à la traction mécanique, d'où un taux d'endettement moins élevé, (ROCCIER, 1982)

19. *Figure : Une grande souplesse et maniabilité sur le terrain, telles sont les principales qualités du cheval en forêt (PIACENTINO, 1999)*

Selon BEAUDOIN et BOURGOIN, 1996 ; ROCCIER, 1982 ; THIRY, 1994 , la présence du cheval dans l'économie forestière possède également ces limites :

- les sentiers de débusquage des chevaux sont étroits et ne peuvent contenir plus de quatre à cinq tiges à la fois
- perte de temps occasionnée, lorsque les chevaux et les machines se croisent à l'embouchure des sentiers de débusquages (lors de jumelage simultané)
- rentabilité insuffisante du cheval dans le cas ou la distance de débardage est supérieur à 100-150 mètre avec un volume de bois considérable Force et temps de travail limité, rendement plus faible pour certains travaux comparativement aux tracteurs forestiers
- demande un soin constant toute l'année (fourrage, ferrage…) même lorsque ce l'animal ne travaille pas

20. *Figure :complémentarité du tracteur forestier et de la force du cheval par la technique du Jumelage (BEAUDOIN et BOURGOIN, 1996)*

Cependant, avant d'intégrer le cheval dans l'économie forestière, plusieurs paramètres importants sont à prendre en compte. Ainsi le rendement horaire dépend de multiples facteurs dont l'organisation du chantier, le nombre et la nature des obstacles, la distance du débusquage, la nature et le volume de la traîne, le terrain, l'expérience du meneur et le volume annuel de la coupe (WERMEILLE, 1995 ; BEAUDOIN et BOURGOIN, 1996 ; THIRY, 1994). Ainsi, globalement, en considérant les principaux paramètres (volume annuel de coupe et distance du débusquage) le jumelage successif (le cheval et l'engin de débardage effectuent le travail de façon différée dans le temps et l'espace) permettrait d'obtenir un maximum de rentabilité des deux méthodes et de minimiser les pertes de temps (BEAUDOIN et BOURGOIN, 1996, THIRY, 1994).

Mais au-delà des critères de rentabilité, parfois discutables, et de préservation du milieu forestier, l'importance de la motivation est déterminante. En effet, il faut tout d'abord aimer les chevaux et aimer la forêt, et ce n'est souvent pas suffisant. C'est là que le concept de formation intervient et il existe, en France, par exemples, une filière de formation pour les personnes intéressées au débardage cheval. Tout le monde peut y trouver son compte ; du forestier en passant par les milieux de protection de l'environnement jusqu'à l'éleveur.(WERMEILLE, 1995)

2.1.7 Les chevaux dans les agglomérations, au service de l'entretien et de la propreté.

Depuis 1982, le service forestier de la ville de Strasbourg utilise des chevaux de trait pour l'entretien de ses forêts (débardage, ramassage des détritus). Ce qui était une expérience au départ est devenu une véritable institution aujourd'hui, et, au fil des ans leur mission s'élargit profitant de sensibiliser la population citadine à la découverte de la nature par des visites en calèches. Un peu plus loin vers le lac de Constance, Friedshafen, a été la première commune à confier le ramassage des ordures à un attelage. Sur la base de développement d'une activité écologique, l'initiative a fortement incité la population à trier les déchets à la source et non seulement le concept tient la concurrence, d'un point de vue économique, mais surtout il a un effet très positif sur la population. Au nord de l'Allemagne, ce concept est adopté par plusieurs villes qui étendent la démarche au nettoyage des parcs, à l'arrosage des massifs de fleurs et même à l'entretien de la chaussée grâce à une balayeuse nettoyeuse qui s'adapte derrière un attelage. (PIACENTINO, 1999)

Ces, exemples démontrent bien qu'en matière d'ingéniosité et de création, la recherche sur la traction animale n'en est qu'à ces débuts, tout étant bien conscient que le but premier est de chercher une complémentarité de la traction animale, et non pas un remplacement, des moyens techniques actuels.

2.1.8 Le cheval de trait, entre loisir et passion, un potentiel à exploiter

Depuis une dizaine d'années, un certain nombre d'activités de loisirs permettent de faire redécouvrir les joies et les plaisirs de l'utilisation des chevaux de trait. On y trouve notamment le tourisme en roulotte, l'attelage de randonnée ou de collections (avec d'anciennes calèches), les concours officiels de traction et d'attelage (PIACENTINO, 1999), sans oublier, bien sûr, la randonnée sur plusieurs jours avec des chevaux bâté (CHARVIN,1981) dont les races de trait léger, conviennent particulièrement bien.

Les chevaux de trait dit chevaux « à sang froid » possèdent en général des facultés de compréhension, d'assimilation et de mémorisation souvent supérieures aux chevaux dits « à sang chaud » malgré leur temps de réaction un peu plus long que les

chevaux de sang, (PIACENTINO, 1999), ceci sans discrimination. De plus, contrairement à ce qu'il se faisait auparavant, le cheval de trait en général, est un animal tout à fait rustique qui peut vivre au parc toute l'année pour peu qu'il dispose d'un abri, d'eau, de nourriture ainsi qu'un coin d'ombre pour l'été et évidemment de compagnie.

Ces conditions de détention, plus proches des besoins de l'espèce, limitent fortement les phénomènes d'ennui. Les animaux seront de ce fait en bien meilleure santé psychique et physique ; comparativement à un congénère qui, confiné et isolé dans un box la majorité de son temps, finira par engendrer des stéréotypes anormaux qu'on appelle fréquemment des vices de comportement, comme « le tic à l'ours » (balancement de la tête et de l'avant main de gauche à droite) pour ne citer qu'un exemple.(PIACENTINO, 1999).

Enfin, a un niveau plus marketing, un nombre non négligeable de villes françaises, telles qu' Annecy, Bayeux, Chartres, Douai proposent des visites guidées en calèches permettant de valoriser l'image des chevaux de trait en même temps que le patrimoine culturel touristique (PIACENTINO, 1999).

Des possibilités existent donc réellement en matière de réintroduction et de revalorisation de la force animale, même à l'échelle d'une ville ou d'une commune. Tout est question de motivation et de collaboration entre les acteurs du projet qui doit être bien pensé et mûrement réfléchie.

21. Figure : Valorisation du cheval de trait par le biais du tourisme (PIACENTINO, 1999)

Arrivé au terme de la première partie de cette bibliographie, les deux chapitres suivants traiteront de la problématique des trois essais effectués dans cette étude avec notamment toute la problématique de la gestion de l'enherbement en viticulture ainsi que la maîtrise des adventices pour les cultures biologiques de plantes aromatiques et médicinales.

2.2 L'enherbement des vignes en production biologique et gestion du stress hydro-azoté

Comme expliqué dans l'introduction, une partie des essais comparatifs s'effectueront sur une exploitation viticole de 3.5 ha située dans le Chablais vaudois dont les vignes en coteaux (Guyot mi-haute et 180 cm d'interligne) sont cultivées en biodynamie depuis 2003. Auparavant, les vignes, sans travail du sol et enherbées uniquement sur les interlignes, permettait le passage d'un chenillard Lamborghini d'environ 2,5 tonne. Acheté en 1980, l'engin se fait vieux et devrait être remplacé à ce jour. Cependant après discussion avec le viticulteur, son renouvellement n'est pas envisagé, essentiellement à cause du tassement important du sol sous le passage des chenilles (poids et vibration) ainsi que pour des raisons financières.

Actuellement, bien que possédant deux chenillette pour les traitements, le travail superficiel du sol devient un objectif en soi, pour non seulement décompacter les zones de passages du chenillard et favoriser l'activité biologique du sol mais également pour limiter la concurrence de l'herbe vis-à-vis de la vigne. En effet, en plus d'arrêter le désherbage sous le rang en 2003 (première année de reconversion), la canicule de l'été a très fortement renforcé l'effet de concurrence hydro-azoté de l'enherbement et certaines zones du vignoble ont montré dès 2003-2004 des baisses significatives de vigueur et de rendement. Dans une vision plus globale du vignoble, il est important de situer le travail du sol comme faisant partie d'une stratégie de moyens culturaux pour pallier au manque de vigueur, et non pas comme méthode unique.

En effet, de nombreuses études confirment l'influence des techniques d'entretien du sol non seulement sur le comportement de la vigne mais également sur la composition des moûts, le déroulement de la fermentation alcoolique, ainsi que sur la composition et les propriétés organoleptiques des vins (AERNY et al. 1995). La structure de l'exploitation et les possibilités de mécanisation influencent donc directement le mode de conduite de la vigne. Tous ces éléments vont conditionner très fortement le choix de la technique d'entretien des sols. (BEURET et MURISIER, 1986).

En ce qui concerne le vignoble suisse, on y trouve des conditions topographiques, pédologiques et climatiques très différentes et la concurrence de l'enherbement n'agit pas de façon identique sur tous les paramètres (BEURET et MURISIER, 1986).

Ainsi, en zone sèche, la concurrence exercée par le gazon, repose essentiellement sur un problème d'eau, phénomène accentué lors de fortes sécheresses (année 2003). Dans ces conditions l'enherbement permanent n'est réalisable qu'avec un équipement d'arrosage. Dans les régions où l'eau n'est pas un facteur limitant, la concurrence de l'engazonnement est principalement due à l'azote. Le stress hydrique pouvant toutefois s'ajouter en période plus sèche (BEURET et MURISIER, 1986).

Lors de l'implantation du gazon, l'enherbement permanent provoque, du moins au départ, une nette diminution du rendement, une réduction de la vigueur et de la taille des feuilles sans pour autant obtenir un gain au niveau de la qualité (BEURET et MURISIER , 1986). De plus, outre ces conséquences sur le comportement de la vigne, l'enherbé permanent favoriserait un microclimat humide favorable aux maladies, un risque de gel printanier accru et le passage d'acariens jaunes de l'herbe sur la vigne en période sèche (MAYOR et MERMILLOD ,1992 ; CALAME, 1993)

Concernant l'influence du gazon sur la qualité du produit fini, dans le cas d'absence de fumure azotée conjointe à une concurrence hydro azotée excessive on remarque d'une façon générale une acidité réduite des moûts, un taux de pourriture plus faible, une diminution de la teneur en azote des moûts. Cette concurrence se retrouve également sur la qualité organoleptique des vins (surtout sur les blancs, nettement moins sur les rouges MAIGRE et AERNY, 2000).

Selon CHRISTOPHE et al. (1995) ; MAIGRE et al. (1995); RAPP (1995) ; SCHWAB et al. (1996); AERNY et al. (1995); SPRING et al. (1996); SCHWAB et PETERNEL (1997), GESSNER et al. (1998); LÖHNERTZ (1998); SAUVAGE et al. (1998); SPRING (1998); SPRING (2002). ; MAIGRE et AERNY (2000), les vins ainsi obtenus porteraient les caractères suivants :

- séchards, même lorsque les teneurs en sucre du moût ne sont pratiquement pas affectées
- perte de la typicité variétale du bouquet qui semble masqué et dénaturé
- apparition de notes de réductions atypiques,
- tanins de moins bonne qualité pour les rouges
- augmentation de l'amertume et de l'astringence

- teneur plus élevé dans les vins, en alcool supérieur phényl-2-éthanol et 3-methyle-1-butanol.

Ainsi, plusieurs études semblent confirmer, que ces conséquences agronomiques et œnologiques sont très similaires, en condition pédoclimatique sèche (Valais) ou humides (bassin lémanique). De plus la qualité olfactive, des vins a tendance à augmenter avec l'élévation de la concentration des composées azotées des moûts, ce qui confirme l'impact négatif que l'enherbement permanent peut avoir, dans certaines conditions sur la vigne et le vin. (MAIGRE et AERNY, 2000 ; MAIGRE et AERNY, 2001 ; MAIGRE et AERNY, 2001 ; MAIGRE et AERNY, 2000,)

Toutefois, il semblerait que ces réactions s'atténuent avec le temps et laissent penser que l'engazonnement de l'ensemble des rangs soit possible dans les vignobles en Suisse romande, permettant ainsi de profiter des nombreux avantages de l'enherbement permanent.(BEURET et MURISIER, 1986 ; MURISIER et CALAME 1987 ; MAIGRE et MURISIER 1991).

Selon BEURET et MURISIER (1986); MAYOR et MERMILLOD (1992); VEZ, (1992) ; SPRING (1999); CHRISTINET et NEYROUD (1983) l'engazonnement permanent des vignes permet :

- de lutte contre l'érosion
- une amélioration de la structure du sol et de la portance des machines
- une réduction de l'acidité des moûts
- une baisse de l'expression végétative de la vigne (favorable dans des conditions pédologiques trop favorables)
- un taux plus faible de pourriture et de dessèchement de la rafle
- une certaine activation de la vie microbienne du sol
- de contrôle des adventices par effet de concurrence

À l'heure actuelle, suite à une prise de conscience, de l'importance, des problèmes écologiques, de nombreux viticulteurs utilisent l'enherbement permanent comme technique culturale à part entière (GAILLAR et al,1992) (principalement dans les cultures larges qui protègent moins bien les sols contre l'érosion, VEZ, 1992). L'objectif est dès lors de limiter les impacts négatifs de la concurrence et de trouver un délicat compromis entre la vigueur de l'herbe et la protection contre l'érosion. En d'autres termes, il s'agit de choisir des plantes pérennes à enracinement superficiel et de petite taille soit en sélectionnant des annuelles d'hiver, qui fleurissent en automne et terminent leurs cycles au printemps protégeant les sols contre l'érosion sans trop concurrencer la vigne relativement à l'eau et aux éléments nutritifs. En ce sens, le trèfle souterrain (*Trifolium subterraneum* L.) donne des résultats encourageants. (DELABAYS et SPRING, 2002).

Selon DELABAYS et SPRING (2002), il présente des caractéristiques très intéressantes pour les situations ou l'enherbement permanent classique entre en compétition excessive avec la vigne pour l'eau et l'azote ou lors d'implantation de jeunes vignes, avant un enherbement permanent. D'après SPRING, (2002) l'utilisation de trèfle souterrain un interligne sur deux a eu comme conséquence

- une augmentation de la teneur en azote des moûts
- une réduction de la durée de fermentation alcoolique
- une fermentation malo-lactique plus rapide et plus complète sur certains millésimes

- une teneur en phényl-2-éthanol inférieur dans les vins
- une amélioration de la qualité des vins (bouquet plus fin et moins d'amertume)

Toutefois, malgré une protection efficace contre l'érosion toute l'année, il n'offre en revanche ni une bonne portance ni une bonne adhérence pour les travaux mécanisés (DELABAYS N. et SPRING, 2002).

Un autre aspect des techniques culturales qui permet de limiter efficacement les inconvénients de l'engazonnement est représenté par le travail du sol. Selon BEURET et NEURY, (1990) ; SPRING, (2005), le travail mécanique des sols viticoles par buttage/débuttage, bêchage, hersage, griffage, sous-solage assure, l'ameublissement des interlignes, une incorporation de la matière organique et l'affaiblissement temporaire du gazon, diminuant de ce fait la concurrence hydro azotée. Toutefois, ces opérations doivent êtres répétées en cours de saison, ce qui peut déranger fortement l'enracinement superficiel de la vigne (problématique sur des sols superficiels), représenter un coût élevé et favoriser l'érosion lors des travaux de buttage-débuttage et bêchage trop intensifs (BEURET et NEURY,1990).

Ainsi, après plusieurs pré-essais effectués durant l'été 2005, c'est finalement le griffage/sarclage superficiel à l'aide de dents vibrantes à socs étroits qui à été retenu pour le travail du sol lors des essais en 2006.

Après avoir passé en revue le problème de la gestion de l'enherbement en viticulture, le chapitre suivant est consacré à la problématique des deux autres essais qui concerne la maîtrise des adventices en cultures biologiques de plantes aromatiques et médicinales.

2.3 La culture des plantes aromatiques et médicinales en zone de montagne

En Suisse, la culture des plantes aromatiques et médicinales remonte à 1972 ou deux agriculteurs vaudois produisaient déjà des huiles essentielles, distillées avec leur installation, pour l'industrie cosmétique. Cependant, au niveau national, ce n'est que vers les années 1980 qu'on s'est véritablement intéressé à ces cultures.

En effet, à cette époque, on constatait que l'industrie utilisait déjà plus de 3'000 tonnes de plantes sèches tandis que l'agriculture suisse ne produisait pratiquement rien dans ce domaine. De plus, de nombreux terrains situés en zones de montagne étaient de plus en plus laissés à l'abandon. Ce fut donc un nouveau potentiel de ressources pour l'agriculture de montagne afin de revitaliser ces zones marginales et défavorisées en limitant l'extension des jachères et permettant de ce fait une meilleure valorisation des parcelles cultivées (DARBELLAY, 1999 ; REY, 1986). Des essais concluants furent effectués dans le canton de Vaud, en Valais, dans l'Emmental, dans le Val Poschiavo (Gr) et au Jura notamment. (DARBELLAY, 1999)

En 1982, la station fédérale de Changins met sur pied une équipe de recherche spécialisée (PLAM-Rac) et dès 1989, Médiplant entre en activité. Cette nouvelle association qui siège à Conthey au Centre des Fougères ,complète le dispositif de recherche (domestication et amélioration génétique) en étudiant plus spécifiquement les nouvelles plantes ayant un intérêt pour l'industrie (DARBELLAY, 1999)

. De fil en aiguille, les travaux de la RAC ont abouti notamment à la mise en culture du génépi et de l'edelweiss pour n'en citer que deux, évitant ainsi la cueillette sauvage et préservant les écosystèmes naturels.

À l'heure actuelle, la recherche a permis la maîtrise culturale de plus de 40 espèces différentes, qui suite aux programmes d'amélioration ont permis d'obtenir du matériel végétal sélectionné de très bonne qualité, plus homogène, plus résistant aux maladies, plus riche en matière active et plus régulière dans la production (DARBELLAY, 1999).

Ainsi, aujourd'hui, les plantes aromatiques et médicinales sont utilisées comme base dans l'élaboration des produits alimentaires, des condiments, des médicaments, des produits cosmétiques et des parfums. Grâce à la multiplicité de leurs usages, elles représentent un potentiel immense, encore loin d'être pleinement exploité (REY, 1986 ; CARLEN, 2004)

22. *Figure : aujourd'hui les plantes aromatiques et médicinales sont utilisées comme base dans l'élaboration de nombreux produits (Actes du 5e colloque Médiplant du 25 au 27 septembre 2003)*

Au niveau de l'organisation du marché, Il existe actuellement, depuis 1985 un organisme faîtier, Plantamont, qui s'occupe de la prospection du marché ainsi que de l'organisation de la production. (REY, 1986) Plantamont regroupe aujourd'hui 11 coopératives totalisant 230 producteurs cultivant plus de 50 espèces selon le cahier des charges de l'agriculture biologique suisse 300 tonnes produites par an. En Valais, au niveau de l'approvisionnement, il existe depuis 1984 une coopérative de producteurs valaisans de plantes aromatiques et médicinales de montagne. Cette coopérative nommée Valplante, commercialise des plantes séchées pour l'industrie alimentaire (bonbons aux herbes Ricola, principal acheteur par le biais de contrats, condiments pour les herbes du grand St-Bernard) pour la phytothérapie, des herbes fraîches comme condiments pour la maison Reitzel et depuis 1997, des tisanes biologiques et une boisson froide à base d'infusion de plante (Bio Alpe Tea). Son but est de promouvoir une activité rentable en zone de montagne afin d'éviter l'exode rural et l'abandon de l'entretien du sol.(MASSEREY M. et M.C, 1999)

23. Figure : la culture des plantes aromatiques et médicinales permet une diversification de l'agriculture de montagne (Actes du 5e colloque Médiplant du 25 au 27 septembre 2003)

Toutefois, l'image des produits issus de plantes aromatiques et médicinales n'est pas compatible avec un emploi abusif d'intrants chimiques. C'est pourquoi, dès le début, à la demande des acheteurs, les producteurs se sont engagés dans des modes de cultures biologiques afin de produire de façon la plus naturelle possible. De plus, en Suisse, la majorité des cultures proviennent des zones de montagne selon les directives de l'agriculture biologique, permettant ainsi une diversification de l'agriculture de montagne (37% des terres cultivées, le 40% des exploitations DARBELLAY, 1986), l'obtention d'un revenu complémentaire pour les producteurs (CARLEN, 2004 ; REY, 1986)

Cependant, qui dit agriculture de montagne, dit le plus souvent parcelles de petite à moyenne taille, en pente avec des conditions délicates d'accès et de travail pour des tracteurs et autres machines. De plus, les petites à moyennes surfaces ne permettent souvent pas l'achat de matériel, notamment en ce qui concerne le désherbage des plantes aromatiques. En Valais par exemple, la majorité des exploitations valaisannes, sont des exploitations familiales très diversifiées mais de petite taille (< à 10 ha) (DARBELLAY, 1986).

24. Figure : la majorité des exploitations valaisannes cultivant des plantes aromatiques et médicinales sont de type familiale (Actes du 5e colloque Médiplant du 25 au 27 septembre 2003)

Ainsi, en agriculture biologique, plus spécifiquement, le désherbage reste une activité contraignante et exigeante en main d'œuvre. En moyenne, les plantes aromatiques et médicinales exigent 200 heures/ha rien que pour le désherbage (DESVAUX, 2003). Autant dire que cet aspect représente un frein au développement des cultures. Son efficacité repose avant tout sur une approche globale de la gestion des adventices, où prévention et combinaison technique donneront les meilleurs résultats. Plus qu'une technique d'intervention, il est important de s'attacher à l'itinéraire technique dans son ensemble. En ce sens, la détermination des sites propices aux cultures des espèces aromatiques et médicinales en moyenne montagne est primordiale et requiert avant tout une bonne connaissance des exigences écologiques, propre à chacune d'entre elles, évitant ainsi les tâtonnements coûteux (REY, 2003).

Dans le cas du semis direct en place (qui tente de progresser ces dernières années), cette technique permet d'abaisser les frais de mise en place et d'obtenir un gain de rendement et de teneur en huile essentielle. Toutefois les semis sont à réserver sur des parcelles avec peu d'adventices sinon le désherbage en phase de germination augmente le coût de production réduisant ainsi l'attrait pour cette méthode. Ainsi, pour certaines parcelles, le plant repiqué ou motté, malgré son coût élevé de mise en place, offre une garantie de reprise supérieure et il est moins sujet à la concurrence des mauvaises herbes que le semis en place (REY, 1993; REY, 1996; REY, 1995)

Cependant, malgré les progrès techniques réalisés ces dernières années le désherbage manuel ne peut être supprimé totalement, mais doit être limité au minimum, ceci afin de réduire la pénibilité du travail, les pertes importantes de récolte ainsi que le coût élevé des heures de main-d'œuvre.

Les mesures préventives sont un des moyens pour atteindre ces objectifs avec notamment (DESVAUX, 2003) :

- la rotation des cultures en alternant les cultures dites « salissantes » ou « nettoyantes »
- la gestion du stock grainier par la suppression des adventices avant leur montée à graine ou par fauchage des bords de champs
- par les techniques culturales, en particulier la pratique du faux semis

Une fois seulement ces mesures prophylactiques observées, on peut avoir recours aux interventions qui serviront à limiter la pression des adventices. En culture de plantes aromatiques et médicinales, plusieurs méthodes sont utilisées pour contrôler les populations de mauvaises herbes :

Les principales sont :

- le désherbage mécanique
- le désherbage thermique
- le paillage des cultures

Le désherbage mécanique, lorsqu'il est bien maîtrisé, a l'avantage d'être très efficace. Cependant la gestion des paramètres comme le choix du matériel, les conditions d'humidité et de texture du sol ainsi que les moments d'intervention par rapport au stade des plantules sont autant de facteurs qui conditionnent la réussite de ce type de pratique (DESVAUX, 2003).

Plusieurs possibilités s'offreent à nous quant au choix du matériel (DESVAUX, 2003). On retiendra notamment :

l'utilisation d'une herse étrille, composée de dents souples et vibrantes espacées de 2,5 cm qui arrachent les adventices.

Avantages :

- intervention en post et pré émergence
- appareil relativement peu coûteux
- entretien et réglage aisé

Inconvénients

- efficace sur adventice uniquement au stade plantule
- peu efficace sur les adventices vivaces telle que chardons, liserons, rumex….
- peut favoriser la germination d'autres adventices

L'utilisation de socs, montés de manière rigide ou vibrante, qui coupent les racines des adventices en travaillant l'inter-rang pour les dents entières type « patte d'oie » ou près de la ligne dans le cas des demi-dents.

Avantages :

- très bonnes efficacités sur l'entretien de l'inter-rang
- limite le nombre d'arrosage en coupant la capillarité du sol
- s'utilise sur de nombreux types de sols et de culture

Inconvénients

- efficacité limitée sur le rang
- peut favoriser la multiplication des adventices vivaces à rhizomes

L'utilisation d'une sarcleuse étoiles, composée de disques en étoile qui arrachent, recouvre les adventices en brassant le sol

Avantages:

- bonne efficacité, même sur des adventices âgés
- s'utilise sur divers type de sol

Inconvénients

- machine lourde demandant des réglages fastidieux
- matériel coûteux

L'utilisation d'une bineuse à doigts qui permet, en complément d'un désherbage inter-rang, un bon contrôle des adventices sur le rang.

Avantages:

- permet de travailler sur la ligne
- outils légers et maniables
- s'utilise sur divers types de sol
- Vitesse d'avancement élevée (5 à 8 km/h)

Inconvénients

- Coût élevé
- efficace sur jeunes plantes uniquement

L'utilisation d'une bineuse à brosse dont les éléments, constitué de poils rigides, sont montés sur un axe horizontal ou vertical et balayent le sol.

Avantages:

- bonne efficacité, même sur les adventices âgées et sur les sols caillouteux

Inconvénients

- coût élevé
- usure des brosses

L'utilisation de multifraises et disques, de plus en plus abandonnés en agriculture biologique car elles favorisent trop fortement le développement des adventices à rhizome, ont un impact négatif sur les lombrics et peuvent provoquer une croûte de battance. Enfin, on trouve également une multitude de petit matériel pour le désherbage manuel sous forme de binette, de rasette avec ou sans roue qui permettent de travailler près des rangs mais qui demande beaucoup de temps et d'effort physique.

Toutefois, les meilleurs résultats sont obtenus en combinant les différents outils avec des complémentarités pour l'entretien sur le rang et dans l'inter-rang.

Le désherbage thermique, quant à lui, consiste à chauffer, au moyen de brûleurs,la partie aérienne des plantes pour les détruire par un effet de choc thermique. Son avantage réside avant tout lors de faux semis ou contrairement à la plupart des outils mécaniques, le désherbage thermique ne participe pas à la remise en germination des graines.

Il faut toutefois noter que l'utilisation de cette pratique prend du temps et exige une consommation énergétique non négligeable.

Une autre pratique culturale, limitant la pression des adventices, consiste dans l'application de paillage avant la plantation à partir de :

Débris de végétaux (paille, écorce, sciure).

Avantages :

- ressource à proximité ou disponible sur l'exploitation
- effet bénéfique sur le taux d'humus

Inconvénients :

- manipulations contraignante et exigeante en main d'œuvre
- rapport C/N souvent défavorable impliquant une immobilisation momentanée d'azote minéral, non disponible pour la culture.

De paillage plastique en polyéthylène

Avantages :

- efficace
- conservation d'humidité du sol
- amélioration de la structure du sol

Inconvénient :

- problèmes de recyclage et de coût énergétique

De paillage biodégradable

Avantages :

- biodégradabilité
- conservation d'humidité du sol
- amélioration de la structure du sol
- absence de recyclage (se décompose dans le sol)

Inconvénients :

- coût élevé
- efficacité à cause d'une durée de vie limitée

Après avoir passé en revue les différentes possibilités de désherbage pour les cultures de plantes aromatiques et médicinales de montagne, on constate que la mécanisation est l'un des aspects marquants du travail en agriculture, renforcée par le mode production biologique. Elle constitue un des principaux facteurs de compétitivité des entreprises, mais coûte cher et toutes les exploitations ne possèdent pas les structures adéquates (ROUGE, 1992). En effet, dans le secteur de l'agriculture, les techniques culturales ne visent pas essentiellement la recherche du rendement le plus élevé, mais plutôt du profit maximum. Celui-ci peut également résulter de la promotion d'une production de qualité et d'une diminution de frais de production due à l'application de techniques économe en intrants, d'une utilisation rationnelle des machines, une diminution des interventions inutiles en matière de travail du sol. (VEZ, 1990)

En ce sens, le problème de la mécanisation n'est pas de revenir à des méthodes de travail moins mécanisées, mais de maîtriser l'investissement proportionnellement au potentiel de l'entreprise et de gérer leur utilisation de manière efficiente. Dans ces conditions la mécanisation ne sera plus une charge, mais un facteur de productivité pour l'entreprise agricole (ROUGE, 1992). Il est donc plus qu'important, aujourd'hui, d'améliorer le petit matériel et de l'adapter aux parcelles de montagne dont la plupart sont de petites dimensions et situées dans des zones accidentées. Ainsi, l'évolution vers des porte-outils polyvalents, permettant d'adapter facilement les différents outils, apporterait un plus à la maîtrise des adventices en production biologique.

3. Objectifs et conditions de réalisation des essais

L'objectif de cette étude est de comparer techniquement et économiquement la traction animale et mécanique par le biais de trois essais expérimentaux de pleins champ. Toutes les cultures sont en productions biologiques. Les secteurs des essais touche à deux branches de productions spéciales, différentes, telles que : la viticulture et la culture des plantes aromatiques et médicinales.

- Un premier essai, en collaboration avec un domaine viticole de trois hectares et demi en coteaux, cultivés en production biodynamique que nous nommerons essai « vigne en coteaux »
- Deux essais en collaboration avec un producteur de plantes aromatiques et médicinales situé en zone montagne « III » que nous nommerons essai « plantes aromatiques et médicinales »

Concernant le premier essai, les parcelles de vignes se situent à Châtel sur Bex en dessus de Lavey, dans le Chablais Vaudois, entre 550 et 600 m d'altitude. Le vignoble en coteaux, est planté en guyot mi-haute dont les lignes sont orientée nord-sud (lignes dans le sens de la pente). Voici en résumé les caractéristiques pédologiques (selon les analyses de sol) et climatologiques principales du domaine.

- nature du sol :· mi-lourds à lourd (entre 20% et 25% d'argile) graveleux à fortement graveleux selon les parcelles
- texture : sols limon argilo-sableux (las) à sable argilo-limoneux (sal) selon les parcelles
- ph : légèrement alcalin à alcalin selon les parcelles
- teneur en mo% : bon, entre 2 et 2.5 % selon les parcelles
- pluviométrie annuelle moyenne : 950 à 1000 mm/an
- exposition : sud à sud-est, assez bien protégé des courants dominants
- rayonnement solaire potentiel cumulé du premier avril au trente septembre: 850 à 950 kwh/m2
- Pente des parcelles de 5% à plus de 35%

La problématique viticole est la suivante : jusqu'à la reconversion complète du domaine (2003) en production biodynamique, les interlignes étaient toujours enherbés sans être travaillé et l'entretien de la ligne était assuré par un désherbage chimique du cavaillon. Suite à la reconversion du domaine en 2003, l'enherbement du cavaillon et l'abandon des engrais de synthèses, joint déficit hydrique estival inhabituel du millésime a fortement accentué la concurrence du gazon (stress hydro-azoté) ; ce qui a eu pour conséquence une baisse excessive de vigueur et de rendement du vignoble. L'encépagement est composé de pinot noir et gamay pour les rouges et de chasselas et pinot blanc pour les cépages blancs.

Dans une vision globale des techniques culturales ayant une influence sur la vigueur de la vigne, l'objectif est de travailler superficiellement l'interligne (le cavaillon étant enherbé et fauché), un rang sur deux, afin de diminuer la pression du gazon et de favoriser l'activité biologique du sol. Il est bien clair que cette intervention ne représente pas l'unique opération pour résoudre la problématique de départ mais fait

partie d'une stratégie d'action. De plus, dans le cadre de la production biodynamique, il est judicieux de travailler le sol de façon superficielle (ouvrir légèrement le sol par griffage), au printemps et en automne, avant l'application de la préparation biodynamiques « 500 ».

25.Figure : baisse de vigueur due à un stress hydro-azoté excessif (source personnelle)

Il est également important de préciser que le parc machine comprend en plus de deux petites chenillettes de portage, un vieux chenillard de marque Lamborghini qui doit être remplacé à ce jour. Les multiples passages dans les parcelles ont fini par tasser fortement les zones de passage des chenilles et par ce constat, le viticulteur ne désire plus réinvestir dans ce type de machine viticole. Durant la saison 2005, et pour la dernière fois, le chenillard a permis un passage à la bêcheuse sur tous les rangs afin de décompacter le sol et de défaire le gazon.

Dans ce contexte précis, le but de l'essai est de déterminer la rentabilité économique, entre un système de traction « animale », cheval tractant un porte-outil et un système de traction « mécanique » représenté par une chenillette porte outils équipé d'un cultivateur. Étant donné que la rentabilité économique est fortement influencée par la productivité du système de traction, les valeurs de productivité cheval étaient obtenues par des mesures réelles sur le terrain faute de résultats existants. Tandis que pour la chenillette porte-outils, comme nous le verrons dans le point suivant, la comparaison économique s'est basée sur des valeurs déjà existantes.

Pour le cheval, l'ouvrage consistait :

À travailler superficiellement sur 7 à 12 cm, les interlignes (un interligne sur deux) au printemps, avant l'application des préparations biodynamiques et surtout pour freiner la croissance de l'herbe et donc diminuer sa concurrence envers la vigne.

Concernant, les deux autres essais « plantes aromatiques et médicinales » l'objectif est de tester la rentabilité technique et économique du système de traction « animale » par rapport au système de traction « mécanique » pour la maîtrise des adventices selon deux modes de plantations différentes.

Voici en résumé les caractéristiques pédologiques principales du site selon les analyse de sol :

- nature du sol :· mi-lourd (15-20% d'argile) faiblement à moyennement caillouteux
- texture : sols moyen sableux très graveleux en sous-sol
- pH : 6.9 à 7 soit légèrement acide à neutre
- teneur en MO% : riche, entre 3.6 et 4% selon les parcelles
- pente des parcelles : 5% pour la culture d'alchémille et 10-15% pour la culture de sauge

Le premier essai « plantes aromatiques et médicinales » était une culture d'alchémille vulgaire *(Alchemilla vulgaris)* de troisième année plantée en double ligne. Le second essai « plantes aromatiques et médicinales » était une jeune culture de sauge médicinale *(Salvia officinalis*) en planches, plantée en mai 2006 à raison de trois lignes par planche. Il était intentionnel de choisir deux modes de culture « planté » et non pas semé comme il était prévu initialement. En effet, après plusieurs pré essais, en automne 2005 et au printemps 2006, sur une jeune culture de thym vulgaire *(Thymus vulgaris),* semé à quatre lignes par planche, cet essai a dû être abandonné en cours de route pour des raisons d'ordre technique. Nous reparlerons en détail de cette limite technique dans la conclusion.

Le système de traction mécanique était représenté par un tracteur de 75 CV équipé d'une barre porte-outil muni de dents souple à soc étroit type « dent de vibroculteur», de doigts en caoutchouc pour travailler proche du rang ainsi que disque en étoile pour le mode de plantation « double ligne ». Le système de traction « animale » était également représenté par un cheval de trait léger tractant un porte-outil, muni de dents rigides équipé de socs type « patte d'oie ».

26. Figure :Détail du système de traction mécanique en action (source personnelle)

Pour les trois essais, le système de traction « animale » était représenté par une jument Fjord, de trait léger, âgé de trois ans et demi lors de l'expérience. Son poids était estimé à 450kg par la formule tiré du classeur « agridea, Garde et alimentation du cheval, 2006 » calculé selon le tour de poitrine.

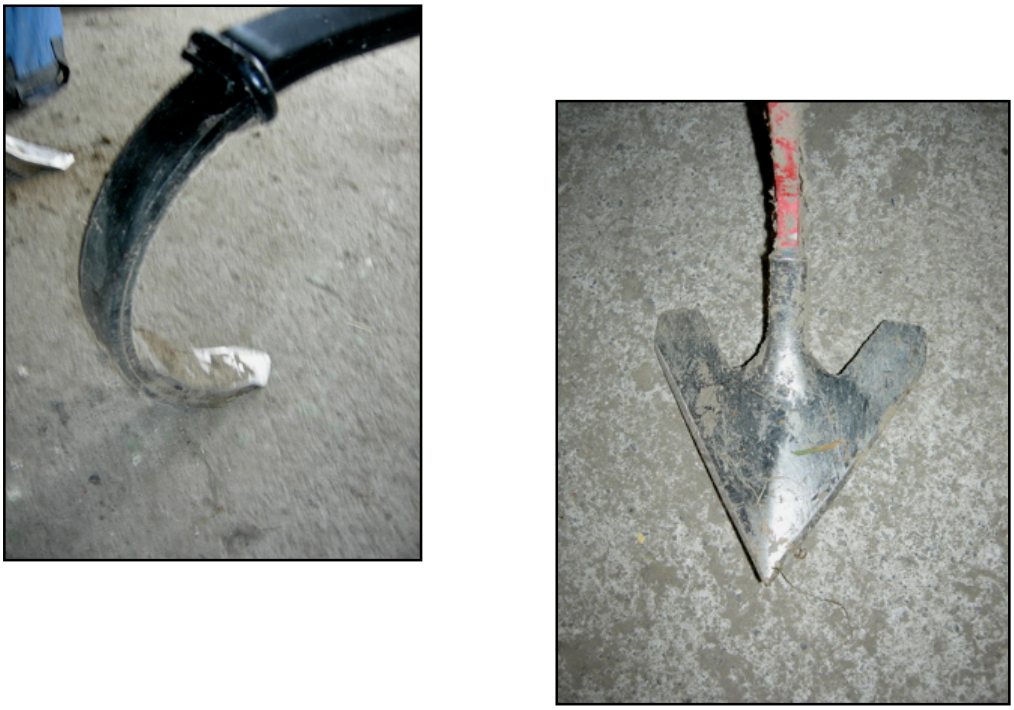
27. Figure : « Cannelle », jeune jument Fjord de trait léger, utilisée pour les essais (source personnelle)

Le choix de la race est tout à fait arbitraire étant donné que l'animal était acheté l'âge de dix-huit mois, à titre privé, pour une utilisation personnelle. Le débourrage était effectué durant la saison 2005 à l'âge de deux ans et demi, par le propriétaire lui-même. C'est donc naturellement avec cette bête que les mesures étaient effectuées. Toutefois, d'autres essais mériteraient d'être effectués pour déterminer la productivité et le coût de revient d'autres races de chevaux de trait.

Quoi qu'il en soit les travaux du sol superficiels exigent une force moindre comparativement à des labours ou autres travaux plus éprouvant physiquement parlant. Tout est question de proportionnalité.

Concernant le porte-outils « kassine » utilisé pour cette étude, il était fabriqué en France par l'association PROMMATA (promotion pour le machinisme moderne à traction animale) fondé en 1993 suite au décès de Jean Nolle, inventeur des deux porte-outils à traction animale, qui, après fusion, donnaient la kassine. Ce type d'appareil se base sur le système du port-outils polyvalent avec la possibilité de pouvoir fabriquer les outils en fonction de ses besoins. Les deux barres et les dents fixées par un système d'étrier, étaient d'ailleurs spécialement construites pour ce travail après plusieurs pré-essais, en automne 2005 et au printemps 2006. Le poids du porte-outil s'élève à 35 kg environ plus 32 kg pour la barre équipée soit un total de 67 kg (le poids de la barre équipé pour la vigne ou les plantes aromatique est approximativement le même).

28. *Figure : Porte kassine pour la traction animale avec réglage de la profondeur et régulateur vertical et horizontal du palonnier selon l'outil utilisé et la force nécessaire(source personnelle)*



29. *Figure : à gauche, dent souple vibrante avec soc étroit pour l'essai « vigne en coteaux » ; à droite dent rigide avec socs « patte d'oie » pour les essais « plantes aromatiques et médicinales »(source personnelle)*

4. Matériels et méthodes

4.1 Définitions des différentes modalités et traitements

Concernant l'essai «vigne en coteaux' , pour des raisons de simplification de travail et d'organisation liée à ma dernière année de formation, nous admettrons que l'effet du griffage sur l'enherbement est approximativement similaire entre la chenillette et le cheval ; considérant un type d'outils similaires pour un travail similaire (sarclage avec outils à dents sur 7 à 12 cm).

En effet, il serait complètement illusoire de comparer l'efficacité d'un travail du sol avec une bêcheuse (outils animés par prise de force) à un griffage effectué à l'aide d'un cultivateur (efficace uniquement par l'avancement de l outil).

Partant de cette hypothèse, les essais d'ordre « technique » (relation pente-vitesse d'avancement et productivité) ont été uniquement effectués avec le système de traction « animale » et nous baserons les comparaisons de type économique, sur des données établies (rapport Fat, données techniques du constructeur) pour la chenillette porte outils.

Cependant, au sens statistique du terme, en l'absence de blocs et de répétitions, l'essai « vigne en coteaux » est plutôt une étude empirique qu'une expérience agronomique de plein champ. D'un point de vue pratique, cette différence ne nous permet pas d'établir une relation fiable de cause à effet, statistiquement parlant. Cependant afin d'éviter toute confusion et pour des raisons de simplification de langage nous continuerons de nommer cette étude empirique comme étant l'essai «vigne en coteaux».

Toutefois, bien que statistiquement moins fiable (absence de certitude de relation de cause à effet), il m'a paru plus explicite de mesurer la productivité du cheval sur des pentes différentes, plutôt que de lier la productivité moyenne à une pente moyenne, n'étant pas certain, de l'existence d'une corrélation linéaire négative pente-productivité. En d'autres termes, l'essai «vigne en coteaux» comportait une seule modalité ou traitement.

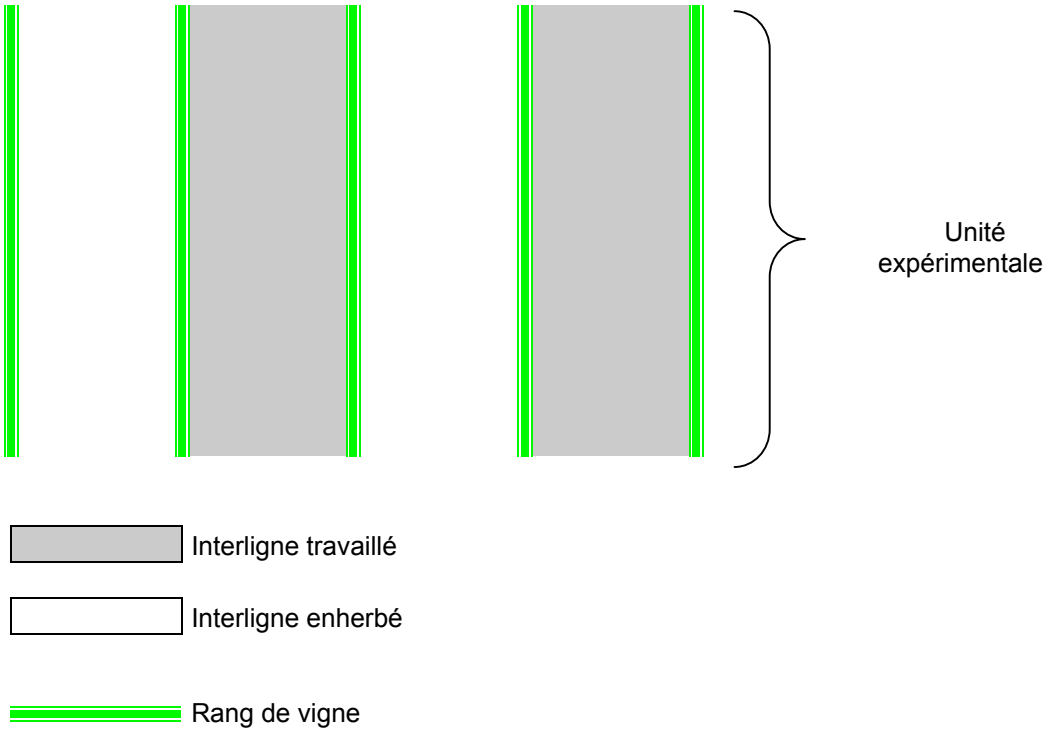
Les deux essais agronomiques de plein champ, «plantes aromatiques et médicinales», étaient organisés en blocs aléatoires complets à six répétitions pour la plantation en doubles lignes et quatre répétitions pour la culture « en planche ». Chaque bloc comprenait deux modalités représentées par,

1. Le système de traction « mécanique » (tracteur + barre porte outils)
2. Le système de traction « animale » (cheval + porte-outils)

4.2 Détermination des variables explicatives et des variables réponses

Concernant l'essai « vigne en coteaux », la variable explicative est représentée par le choix du système de traction animale.

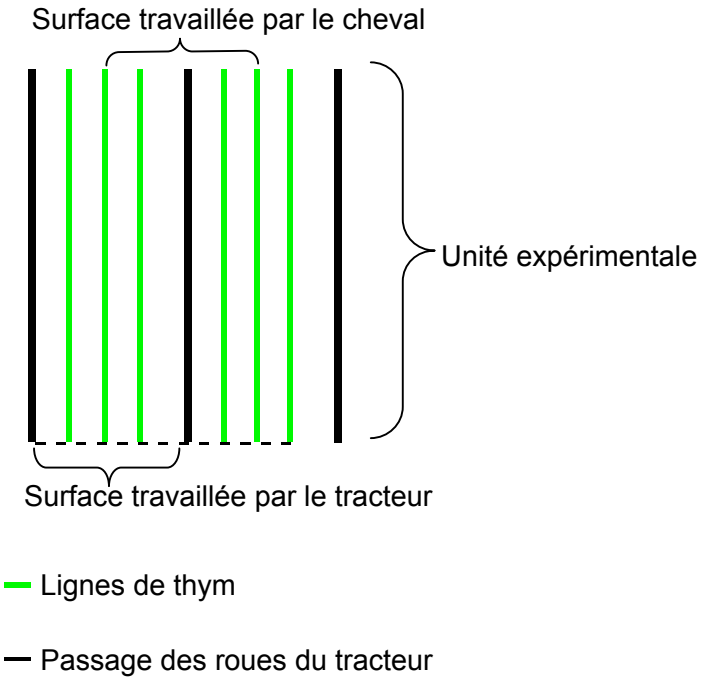
L'unité expérimentale se compose de quatre interlignes dont deux seulement sont travaillés afin de permettre le passage des petites chenillettes pour les traitements, sans trop d'irrégularité topographique dues au travail du sol.



30. Schéma : Unité expérimentale d'une des parcelles viticoles

Chaque parcelle de pente différente comportait quatre unités expérimentales avec des mesures sur les quatre unités.

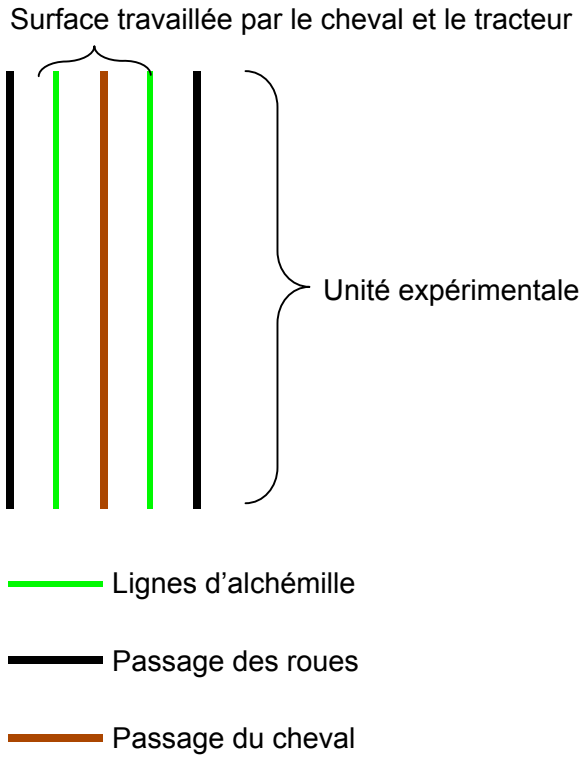
Pour les « plantes aromatiques et médicinales », les variables explicatives sont représentées par le choix du système de traction (mécanique ou animale) ainsi que par la qualité du désherbage. L'unité expérimentale, pour la culture de sauge « en planche », est identifiée par deux planches de cultures comportant chacune trois lignes plantées.



31. Schéma : Unité expérimentale pour le mode de plantation « en planche »

Cependant, comme nous le verrons dans le chapitre du dispositif expérimental, chaque bloc comprend cinq planches (vingt planches au total) dont quatre seront entièrement travaillées (deux unités expérimentales par traitement). Cet ajustement à dû être effectué à cause de l'adaptation du système de traction « animale » au mode de plantation (c'est logiquement le mode plantation qui devrait être adapté à la mécanisation). En effet, la barre porte-outils travaille la même surface que le tracteur, soit deux demi-planche (une planche complète) à la fois au lieu d'une planche de front.

Pour la culture d'alchémille plantée en doubles lignes, l'unité expérimentale est représentée par une double ligne plantée.



32. Schéma : Unité expérimentale pour le mode de plantation « en doubles ligne »

Concernant l'essai « vignoble en coteaux », la variable réponse sera donnée par la rentabilité économique de la traction animale, liée à la productivité du système de traction, pour les conditions du domaine en question. Afin de différencier les parcelles du vignoble, les pentes étaient mesurées à l'aide d'un clinomètre. L'ordre des passages des cinq parcelles expérimentales était déterminé par un tirage aléatoire à l'aide de la table des nombres aléatoires en commençant par le premier chiffre de la sixième ligne. Cette précaution était prise afin d'éviter une confusion d'effet entre la pente de la parcelle, la productivité du système de traction et l'ordre de passage.

Lors des relevés, quatre paramètres étaient mesurés afin de déterminer la productivité du système :

- la vitesse d'avancement
- le temps nécessaire aux manœuvres en fin de ligne
- le temps de récupération du souffle, nécessaire au cheval, à la fin de l'unité expérimentale, soit à la fin du deuxième interligne.
- le temps de travail/ha par extrapolation des trois mesures ci-dessus

En plus des relevés de productivité, des mesures étaient effectuées afin de déterminer le temps nécessaire au pansage, à l'harnachement et au « des-- harnachement » de l'animal avant et après travail. Ces résultats nous ont servi dans le calcul du coût de revient « cheval' .

Toutes ces mesures étaient effectuées pour chaque parcelle considérée et ce à quatre reprises.

Pour les essais « plantes aromatiques et médicinales » les variables réponse étaient identiques pour les deux essais ;

Respectivement :

La productivité des systèmes de traction mécanique et animale :

- la vitesse d'avancement
- le temps nécessaire aux manœuvres en fin de ligne
- le temps de travail/ha par extrapolation des deux mesures ci-dessus

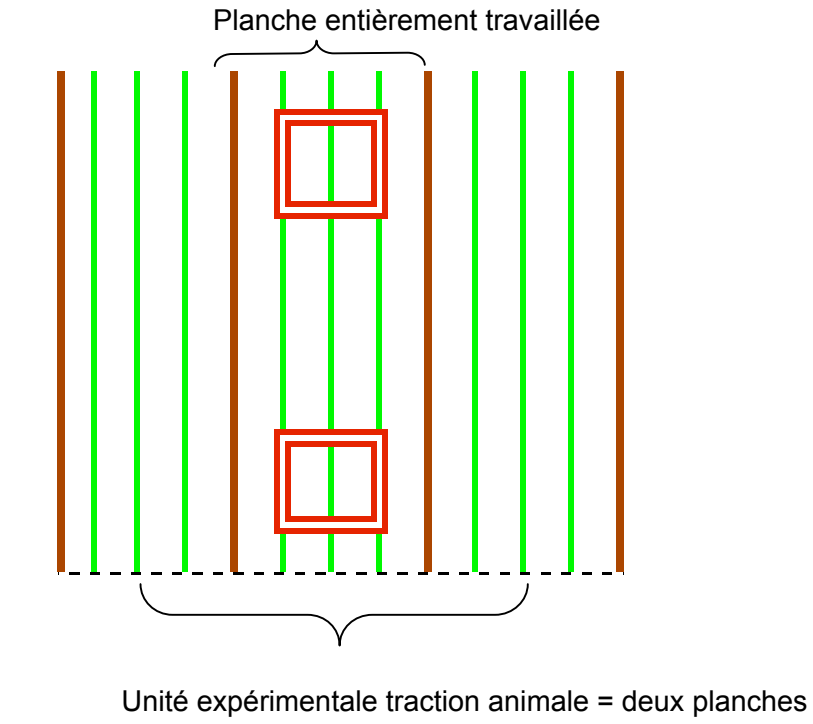
La qualité du désherbage, par le biais de comptages qualitatif et quantitatif du nombre d'adventices, avant et après travail afin de mesurer l'efficacité de l'opération.

Ces comptages étaient effectués pour les deux systèmes de traction et pour les deux modes de plantation. Chaque traitement comprenait deux échantillons fixes d'un m2 chacun, disposé à deux mètre du bord à l'intérieur de l'essai, afin d'éviter « les effets de bord ». Les échantillons étaient placés de manière fixe durant toute la durée de l'expérience sur la largeur de la planche, pour la culture en planche et sur les deux rangs de culture, pour la culture en doubles lignes.

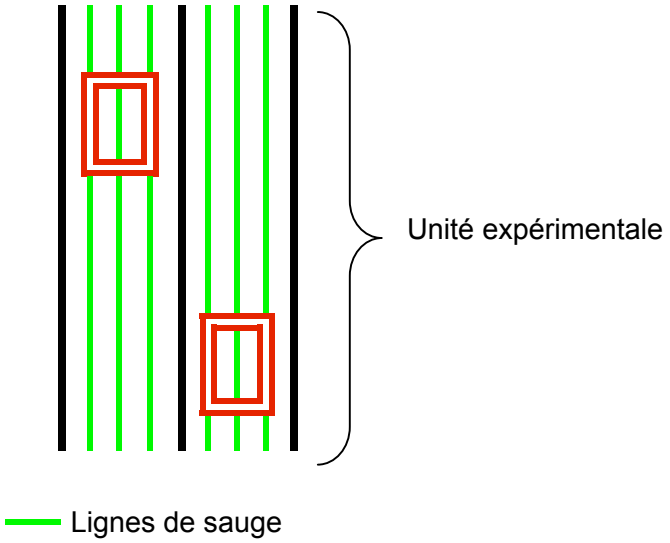
Pour la parcelle de sauge plantée en planche, étant donné que l'unité expérimentale était composée de deux planches de culture, les deux échantillons étaient disposés sur une seule planche pour le système de traction « animale » et sur deux planches pour le système de traction « mécanique». Cette différence était nécessaire, à cause de l'adaptation technique du porte-outils traction animale à un mode de plantation prévue pour le tracteur (adaptation de la mécanisation traction animale au système de culture, voir schéma ci-dessous et schéma du dispositif expérimental).

- Toutes les mesures du temps étaient effectuées à l'aide de trois chronomètre de marque « **inter**tronic » achetés chez Interdiscount. La reconnaissance des adventices était faites avec l'aide du livre « Mauvaises herbes des cultures » Paris, Ed : le Carrousel, 1997. La randomisation des traitements au sein de chaque bloc était effectuée à l'aide de la table des nombres aléatoires en commençant par le premier chiffre de la ligne 146, pour le mode de plantation en planche et 137 pour le mode de plantation en double ligne.

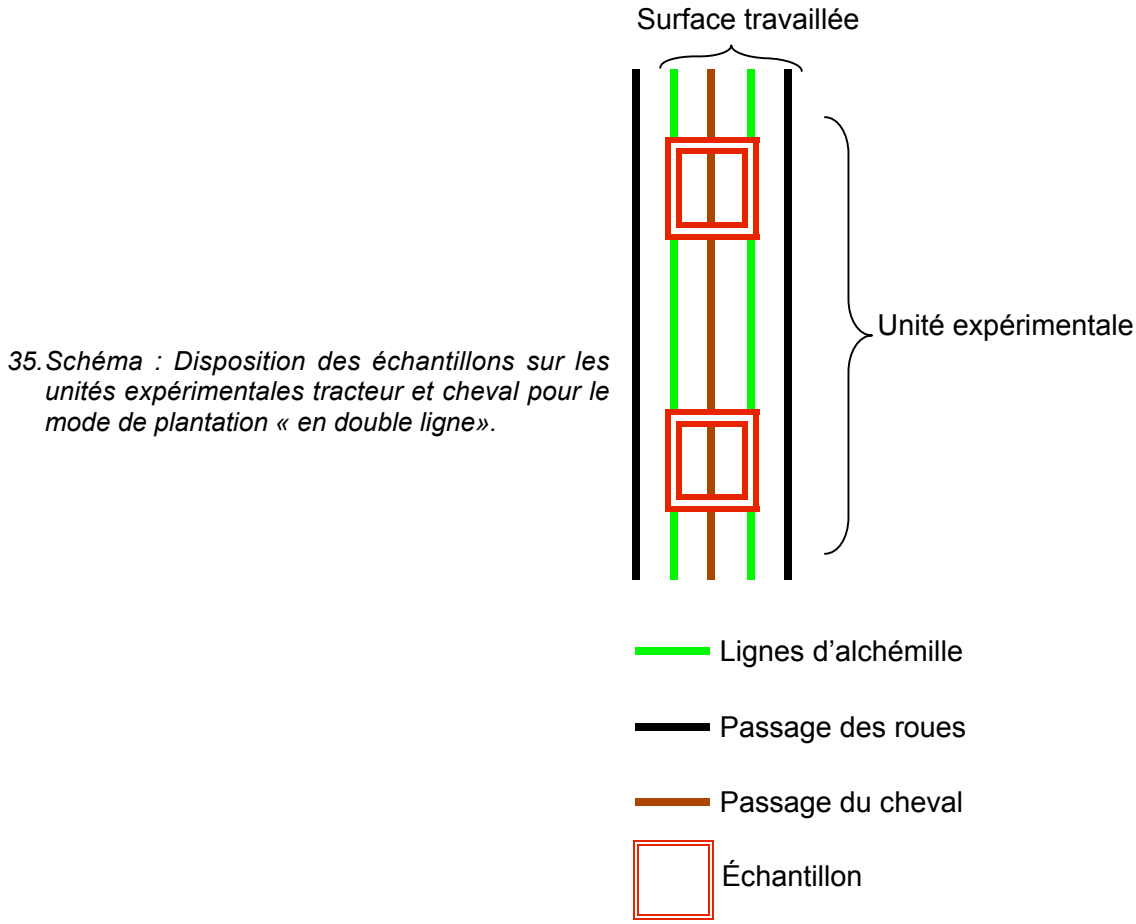
Deux mesures étaient effectuées pour le mode en « double ligne » et une mesure pour la parcelle de sauge plantée « en planche »



33. Schéma : Disposition des échantillons sur les unités expérimentales traction animale, pour le mode de plantation «,en planche »



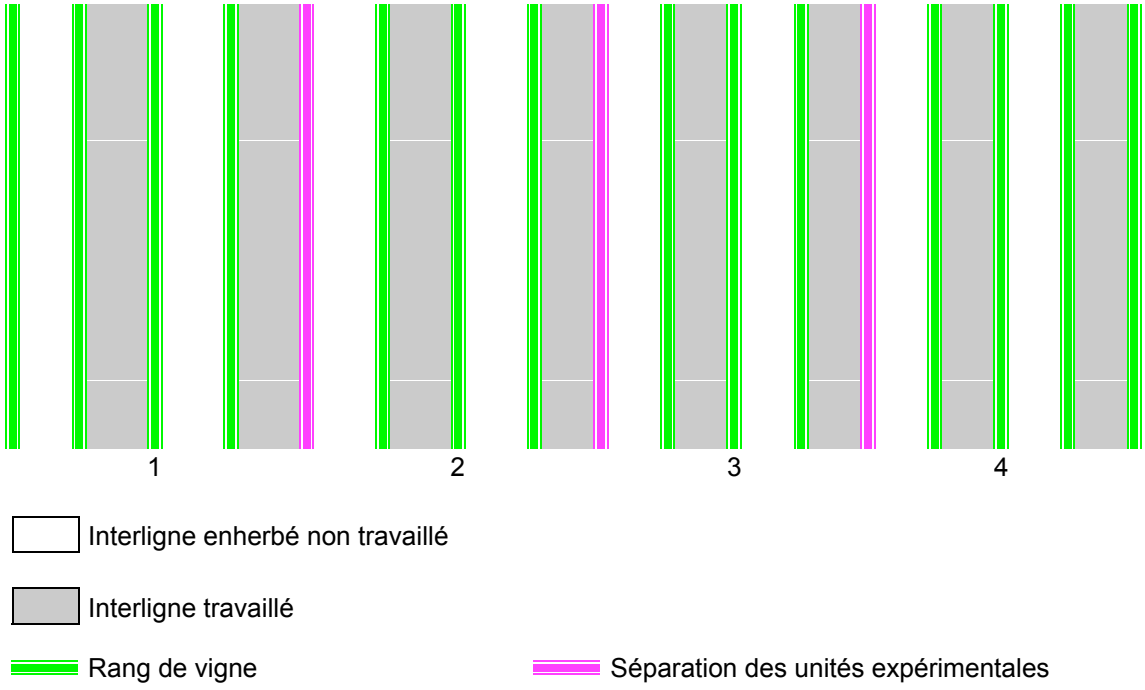
34. Schéma : Disposition des échantillons sur les unités expérimentales traction mécanique pour le mode de plantation « en planche ».



35. Schéma : Disposition des échantillons sur les unités expérimentales tracteur et cheval pour le mode de plantation « en double ligne».

4.3 Dispositif expérimental

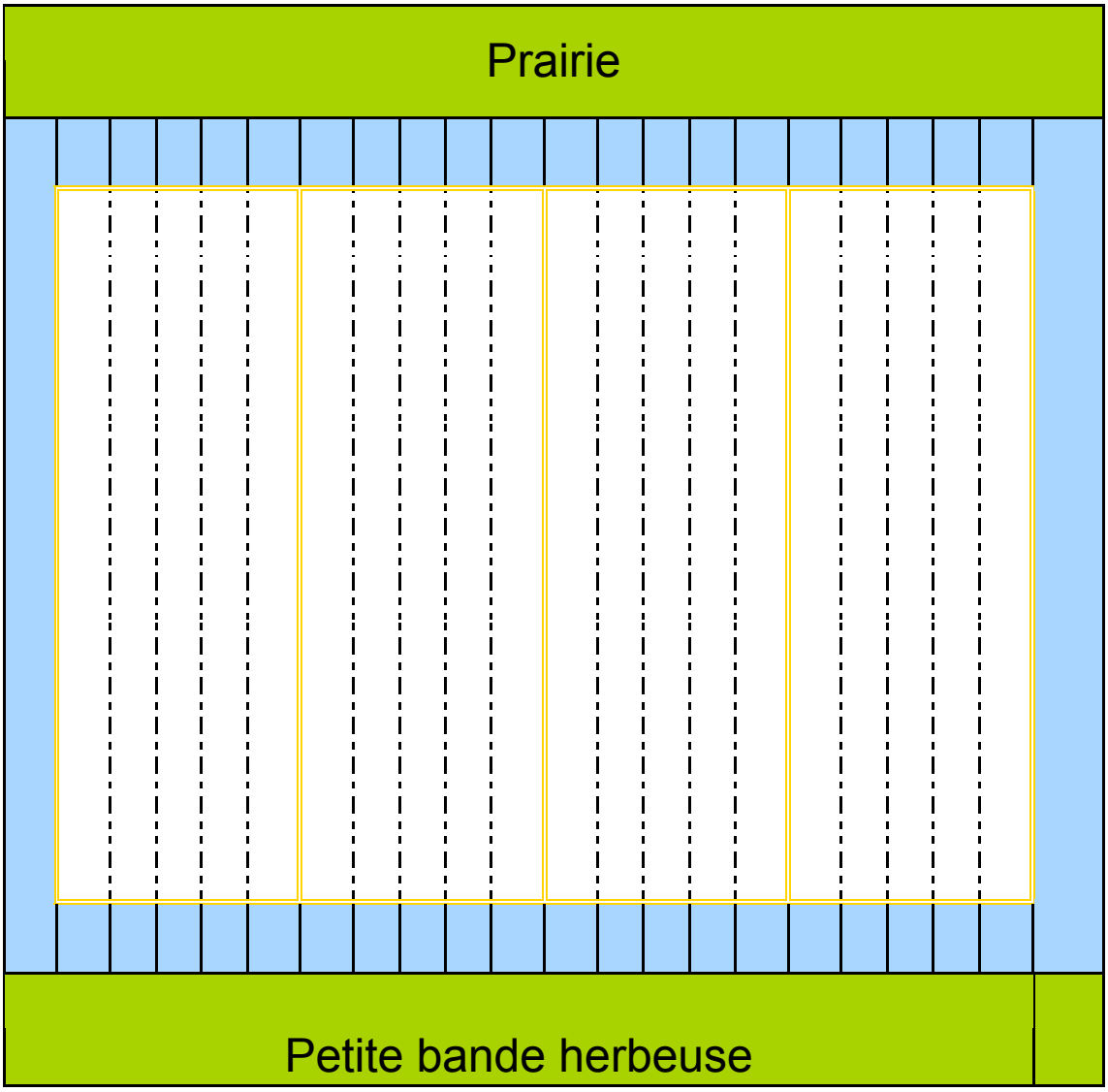
Concernant l'essai « vigne en coteaux » les cinq parcelles de pente différentes, mesuré à l'aide d'un clinomètre, était organisé en quatre unités expérimentales, comportant chacune une seule modalité (système de traction « animale »). Chaque unité faisant l'objet d'une mesure soit quatre mesure par parcelle par intervention.



36. Vue schématique d'une parcelle viticole de l'essai « vigne en coteaux »

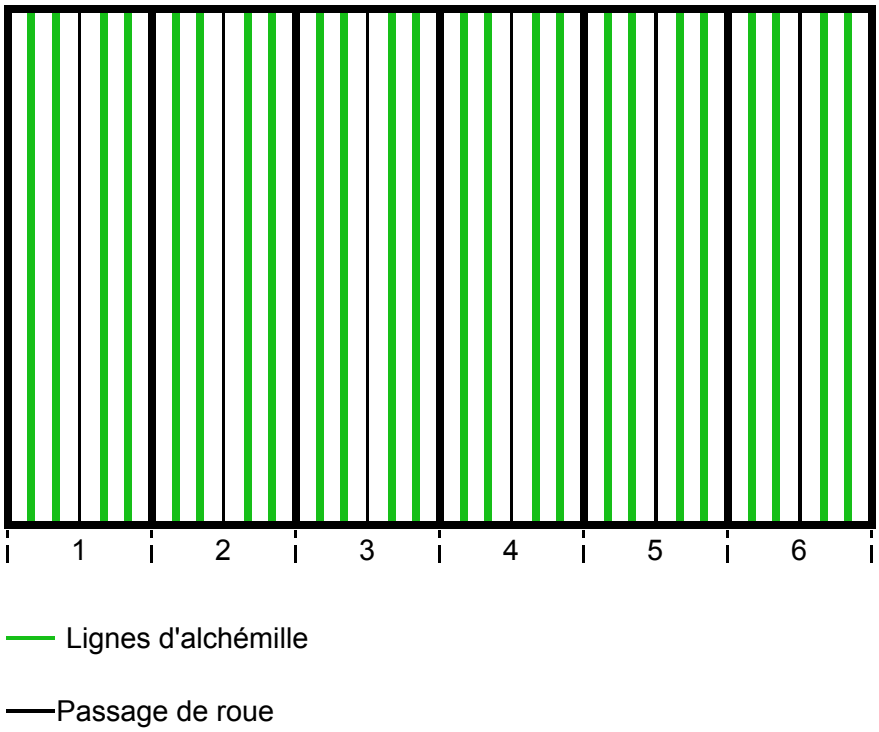
En ce qui concerne l'essai « plantes aromatiques et médicinales», la disposition était sous forme de blocs aléatoires complets (tous les traitements présents dans chaque bloc soit deux modalités par bloc) à quatre répétitions pour la parcelle en planche et six pour la culture en doubles lignes.

Comme vue précédemment, l'unité expérimentale pour la parcelle de sauge se compose de deux planches travaillées. Cependant, chaque bloc comprenait cinq planches (vingt planches au total) dont quatre seulement étaient comptées dans les résultats. En effet, cet ajustement a dû être effectué à cause de la mécanisation du système de traction « animale » qui travaille la même surface que le tracteur (deux fois une demi-planche, au lieu d'une planche complète) mais de façon différente dans l'espace.



37. Schéma du dispositif expérimental à quatre blocs pour le mode de plantation « en planche »

Pour la culture d'alchémille en double ligne, pour des raisons de taille et de disposition de la parcelle, il n'est pas prévu de bordures-tampon entre les blocs constitués de deux doubles interlignes de culture.



38. Schéma du dispositif expérimental à six blocs pour le mode de plantation en double ligne

4.4 Déroulement de l'essai

Au niveau de l'organisation pratique du travail pour l'essai « vigne en coteaux », les cinq pentes, correspondant chacune à une parcelle, étaient regroupées en deux groupes de travail (groupe A et B) chacun d'une surface de travail identique. Ceci afin de pouvoir effectuer un passage sur toutes les parcelles en deux matinées évitant ainsi que les mesures des parcelles effectuées en dernier ne soient influencées par la fatigue de l'animal. Le choix du groupe de travail était décidé arbitrairement en alternant à tour de rôle le groupe A et B. L'ordre de passage des interventions au sein des deux groupes de travail était déterminé par un tirage aléatoire à l'aide de la table des nombres aléatoires, en commençant par le premier chiffre de la sixième ligne.

Durant le déroulement de l'expérience, le cheval recevait toujours une ration d'avoine la veille (en plus d'une pâture intégrale) ainsi qu'une deuxième, une heure avant le passage des interventions. Une deuxième personne a toujours secondé les interventions (mesure de temps et inscription des résultats sur les champs) de manière à ce que le meneur n'ait plus qu'à mesurer le temps de récupération nécessaire au cheval. Les temps nécessaires à la préparation de l'animal (harnachement et pansage) étaient pris avant et après travail.

Les essais « plantes aromatiques et médicinales » se sont déroulés de la même façon que pour la vigne à une exception près. Le cheval recevait de l'orge à la place de l'avoine (l'avoine en excès à tendance à trop « chauffer » les équidés, Wolter, 1999) étant donné que le sarclage exige précision et docilité de la part du cheval. De plus si la vitesse d'avancement est trop rapide, il devient difficile de mener le cheval et de conduire le porte-outils de façon précise. Les mesures étaient toujours effectués à deux personnes, de manière à faciliter les relevés et l'inscription des résultats obtenus sur les champs. Généralement, les mesures commençaient avec le tracteur puis le cheval en final, de manière à ce que le propriétaire des cultures ne soit pas bloqué dans son emploi du temps.

Les relevés d'adventices étaient également effectués avec l'aide d'une autre personne avant passage et quinze jours après sarclage, de manière à laisser le temps à la germination des graines ramenées en surface. La surface des échantillons était déterminée à l'aide de deux doubles mètres.

39. Figure : vue sur la parcelle de sauge, plantée en planche de trois ligne (source personnelle)

4.5 Analyse statistiques des résultats

Les résultats de productivité, issus des moyennes des quatre unités expérimentales, pour l'essai « vigne en coteaux », étaient analysés à l'aide d'une analyse de variance à un facteur contrôlé, complétés par une comparaison multiple (comparaison deux à deux de Tuckey). La productivité du système traction mécanique (chenillette porte outils) étant déterminée sur base de chiffres donnés par le biais du tarif FAT.

La comparaison économique des deux systèmes s'est basée sur le calcul du coût de revient horaire.

Pour les essais « plantes aromatiques et médicinales », les moyennes des résultats de productivité des deux systèmes de traction (tracteur et cheval) étaient comparés par une analyse de variance «ANOVA : modèle linéaire généralisé » tenant compte de l'effet bloc. Au niveau de la qualité du désherbage, les populations moyennes des échantillons mesurés avant et après travail étaient comparées par un test non paramétrique (test de Friedman qui tient compte de l'effet des blocs).

Toutes les analyses statistiques étaient effectuées avec l'aide du programme informatique MINITAB, version française N°13.

4.6 Calcul des résultats de productivité, pour les essais « vigne en coteaux » et « plantes aromatiques et médicinales »

4.6.1 Modélisation du temps de travail par hectare

En ce qui concerne le calcul du temps de travail par hectare pour les trois essais, voici les différentes étapes du raisonnement :

- Un hectare de 50 mètres de long, mesure logiquement : 200 m large.
- Cette largeur théorique de parcelle est divisée par la largeur de travail du système de traction. Ce qui nous donne le nombre de ligne à travailler par hectare.
- Le nombre de ligne est ensuite multiplié par la longueur d'une ligne. Ce qui nous donne la distance totale à parcourir par ha.
- Cette distance est divisée par la vitesse d'avancement en m/s, pour nous donner la durée nécessaire pour parcourir cette distance.
- Le temps total nécessaire aux manœuvres en fin de ligne est obtenu en enlevant une ligne par hecytare (on considère un retournement par ligne de travail sauf pour la dernière ligne) puis en multipliant le nombre de lignes restantes par le temps nécessaire aux manœuvres en fin de ligne.
- Ce résultat obtenu est additionné au temps total pour parcourir toutes les lignes de la parcelle. Ce qui nous donne un temps de travail théorique par hectare de 50 mètres de long.

Ce raisonnement était également appliqué pour des lignes de 100 mètres de long afin de permettre une réflexion de l'influence de la forme des parcelle sur la productivité des systèmes de traction.

4.6.2 Modélisation de la productivité maximale journalière

Pour le calcul de la productivité maximale journalière vigne et plantes aromatiques, voici les différentes étapes du calcul :

- En considérant le temps de travail théorique nécessaire pour effectuer un hectare donné, il suffit de diviser le temps de travail potentiel journalier du système de traction par sa productivité théorique.
- Pour le système de traction animale, selon, BEAUDOIN et BOURGOIN, 1996 ; THIRY, 1994, il est généralement admis qu'un cheval adulte peut travailler huit heures par jour . Par précaution et par souci de représentativité de l'expérience, il était choisi pour le temps de travail journalier potentiel.
    - Six heures pour la vigne
    - Sept heures pour les plantes aromatiques et médicinales
- Ce choix arbitraire tient compte de la pénibilité du travail (plus physique pour la vigne) également en partant du principe que toutes les heures sont des durées effectives de travail qui ne tiennent pas compte des temps de pauses pour manger, de préparation et de rangement.
- Pour le système de traction mécanique (chenillette porte outils et tracteur), après discussion avec les deux exploitants, il était décidé de choisir une durée standard de sept heures de travail effectif journalier pour la vigne et pour le sarclage des plantes aromatiques.

4.7 Résultats de l'analyse économique

4.7.1 Coût d'investissement initial

Les coûts initiaux d'investissement « chenillette porte-outils + cultivateur » étaient déterminés selon le rapport FAT 2006. Le prix initial du tracteur également. Tandis que le prix de la barre sarcleuse était déterminé après discussion avec le propriétaire des plantes aromatiques et médicinales.

Concernant le coût d'investissement du cheval, il était fixé comme référence le prix d'achat d'un cheval de trait léger de race « Haflinger » débourré pour l'attelage et âgé de quatre ans. En effet, la race norvégienne « Fjord », employée pour cette étude possède des caractéristiques zootechniques et des aptitudes de travail très similaires comparativement à la race tyrolienne.

Le coût du porte-outils Kassine, fabriqué en France par l'association PROMMATA (association pour la promotion du machinisme moderne à traction animale), est issu de la liste de prix 2006. Tandis que la barre porte-outils, était fabriquée spécialement pour l'expérience. Il s'agit donc d'un prototype.

4.7.2 Coût de revient horaire

Les coûts de revient horaire traction mécanique était déterminées selon la méthodologie et les chiffres du tarif FAT 2006.

Le coût de revient horaire cheval était déterminé d'après les sources suivantes :

- classeur d'agridea « élevage et garde du cheval »
- classeur reflex d'agridea
- livre sur « l'alimentation du cheval » de Roger Wolter
- plan d'affouragement cheval, élaboré pour le calcul du coût de revient, sur base du livre de Roger Wolter, du classeur agridea, des prix des fourrages actuels du landi de collombex-le-grand dans le bas-Valais.
- Les paiements directs (prime UGB, contributions SRPA….) ne sont pas pris en compte dans le coût de revient du cheval

4.7.3 Coût annuel de traction pour les essais « vignes en coteaux » et « plantes aromatiques et médicinales »

Pour l'essai « vigne en coteaux », voici ci-dessous le raisonnement pour le calcul du coût annuel de traction, six griffages par saison, un interligne sur deux pour un vignoble de 3,5 ha en coteaux. Toutes les heures sont des durées effectives et ne tiennent pas compte des temps de préparation, de rangement, de pauses repas et de transport. De plus, elles sont toutes comptées à 28fr.- par heure (charges sociales comprises) pour la rémunération de la main-d'œuvre. Et ce, quelles que soient les variantes, afin de faciliter la démarche et les calculs.

Pour la variante « achat cheval + porte-outils » :

- Le nombre d'heures annuelles de traction, cheval, nécessaire pour le travail expliqué ci-dessus, était calculé en ramenant « le temps de travail par ha de 50 m de long en fonction de la pente », à la surface des différentes parcelles présentes sur le vignoble. Ces temps de travaux totaux pour toutes les parcelles du domaine, nous donne un temps de travail moyen par ha pour le domaine en question.
- Ce temps moyen/ha était ensuite multiplié par le nombre d'hectares du domaine lui-même multiplié par le nombre de passages fixé par le viticulteur.
- Ce nombre d'heures de traction annuelle a servi comme base pour le coût de revient cheval. Le coût de revient porte-outils kassine étant déterminé sur la base du nombre d'hectares annuellement, travaillé soit la surface du domaine multiplié par le nombre de passage annuel.
- Le nombre d'heures de traction animale était ensuite multiplié par le coût de revient horaire -traction animale qui comprend le coût du cheval, la rémunération du meneur ainsi que le coût de revient du porte-outil . Le résultat obtenu correspond au coût de traction pour ce domaine.

Pour l'option, « traction animale par tiers »

- Le coût horaire cheval était déterminé d'après une utilisation annuelle de 400 heures. Ces 400 heures représentent une utilisation de cinq jours de travail par mois ou trois mois par an à raison de cinq jours par semaine et sept heures par journée de travail. Ce qui représente une utilisation moyenne du cheval.
- La rémunération du meneur restait identique.
- Le coût horaire du porte-outils, était fixé d'après une surface annuelle de travail de trente hectare.
- Les deux premiers coûts horaire ci-dessus, après addition, étaient ensuite multipliés par le nombre d'heures de travail annuel « cheval » calculé pour l'option précédente. À ce résultat obtenu était ajouté le coût du porte-outils pour donner un coût de traction « traction animales par tiers

Pour la variante « achat chenillette porte-outils » :

- Le temps de travail par ha pour la chenillette, a été déterminé à l'aide du tarif Fat 2006 avec comme référence la productivité horaire d'une bêcheuse multipliée par deux étant donné que le travail s'effectue un interligne sur deux, soit 40 ares/heures.
- Ce temps de travail/ha a ensuite été multiplié par le nombre d'hectares du domaine et par le nombre de passage fixé par le viticulteur lui-même.
- Ce nombre d'heures de traction mécanique servait comme base pour le coût de revient de la chenillette porte-outils. Le coût du cultivateur était déterminé d'après le nombre d'hectare annuel, soit la surface du domaine multipliée par le nombre de passage
- Le coût total traction mécanique était ainsi obtenu en multipliant le coût horaire chenillette et la rémunération de l'ouvrier, par le nombre d'heure de traction mécanique. Le coût du cultivateur, d'après la surface annuelle travaillée était rajouté à ce montant pour donner un coût total de traction mécanique.

Pour l'option « Location chenillette porte-outils »

- Le nombre d'heures de traction mécanique annuelle était multiplié par une indemnité de location journalière chenillette, elle-même divisée par sept heures de travail effectif journalier, afin de ramener cette indemnité journalière à une indemnité horaire. Le coût de la main-d'oeuvre a été rajouté à cette indemnité.Les tarifs de location, proviennent de la maison Avidor à Fully,

En ce qui concerne les résultats économiques de l'essai « plantes aromatiques et médicinales », on trouvera le raisonnement ci-dessous pour le calcul du coût annuel de traction nécessaire au désherbage d'une parcelle d'un hectare de 50 mètres de long, à raison de six sarclages par saison.

Tous les résultats sont calculés pour une largeur standard de travail 1.5 mètre. Toutes les heures sont des durées effectives et ne tiennent pas compte des temps de préparation, de rangement, de pauses et de transport. De plus, elles sont toutes comptées à 28fr.- par heure (charges sociales comprises) pour la rémunération de la main-d'œuvre. Et ce, quelles que soient les variantes, afin de faciliter la démarche et les calculs.

Pour la variante « achat cheval + porte-outils » :

- Le nombre d'heures annuelles de traction animale, nécessaire pour le travail expliqué ci-dessus, était calculé en multipliant « le temps de travail nécessaire par ha de 50 mètres de long pour le mode de plantation en planche » par le nombre de sarclage annuels. le nombre d'intervention était fixé à six après discussion avec le propriétaire des cultures.
- Ce nombre d'heures de traction annuelle a servi comme base pour le coût de revient cheval. Le coût de revient porte-outils kassine étant déterminé sur la base du nombre d'hectares annuellement travaillés. Soit un hectare multiplié par le nombre de sarclage annuel.
- Cette durée « traction annuelle », était ensuite multipliée par le coût horaire traction animale et par la rémunération horaire de la main-d'œuvre. Le coût du porte-outil, d'après la surface annuelle effectués, était ensuite rajouté au résultat précédant pour donner un coût-traction animale » totale
- Une petite précision concernant la rémunération horaire de la MO pour le système de traction animale. Après plusieurs pré essais, il était jugé important de compter deux personnes pour les quatre premiers sarclages après plantation. En effet, à ce stade, les jeunes plantons sont fragiles et le travail de sarclage exige une grande précision. Ce qui rend nécessaire une seconde personne « pour mener le cheval à la bride » afin que l'autre personne puisse se concentrer au maximum sur la qualité du travail sans avoir encore le souci de guider le cheval. Passé ce stade, les plantes sont suffisamment fortes et le cheval peut être mené seul, sans courir le risque de voir de nombreuses plantes déracinées à chaque sarclage. Ainsi, sur une culture de quatre ans, le coût moyen horaire de la main-d'œuvre s'élève à 32.7fr.-/heure de travail effective en comptant, sur 24 sarclages au total, quatre qui exigent une personne supplémentaire.

Pour la variante, « traction animale par tiers »

- Le nombre d'heures de traction animale était multiplié par le coût horaire cheval d'après une utilisation annuelle de 400 heures. Ces 400 heures représente une utilisation de cinq jours de travail par mois ou trois mois annuellement à raison de cinq jours par semaine et sept heures par journée de travail. Ce qui représente une utilisation moyenne du cheval.
- En plus du coût cheval, la rémunération du meneur était ajouté pour faire une indemnité traction animale. Le coût du porte-outil, pour une surface annuelle de travail de trente hectares, était ensuite rajouté au résultat précédant pour donner un coût « de traction animale » totale. La remarque, concernant le coût de MO pour l'option précédente, est également valable pour ce cas de figure.

Pour la variante « achat tracteur 65 CV + barre de sarclage »

- Le nombre d'heures annuelles de traction mécanique nécessaire, était calculé en multipliant « le temps de travail nécessaire par ha de 50 mètres de long pour le mode de plantation en planche » par le nombre de sarclages annuels. le nombre d'intervention était fixé à six après discussion avec le propriétaire des cultures.
- Ce nombre d'heures de traction annuelle a servi comme base pour le coût de revient du tracteur. Le coût de revient de la barre sarcleuse étant déterminé sur la base du nombre d'hectare annuel travaillé. Soit un hectare multiplié par le nombre de sarclages annuels.
- Cette durée de « traction annuelle », était ensuite multipliée par le coût horaire du tracteur et par la rémunération horaire de la main-d'œuvre multipliée par deux, étant donné qu'il est nécessaire de mobiliser deux personnes pour le sarclage. En effet, en plus du chauffeur, une deuxième personne, assis sur la barre sarcleuse à un emplacement prévu à cet effet, oriente les dents et les étoiles permettant ainsi un travail d'une très grande précision.
- Le coût du porte-outils, d'après la surface annuelle effectuée, était ensuite rajouté au résultat précédent pour donner un coût total de « traction mécanique ».

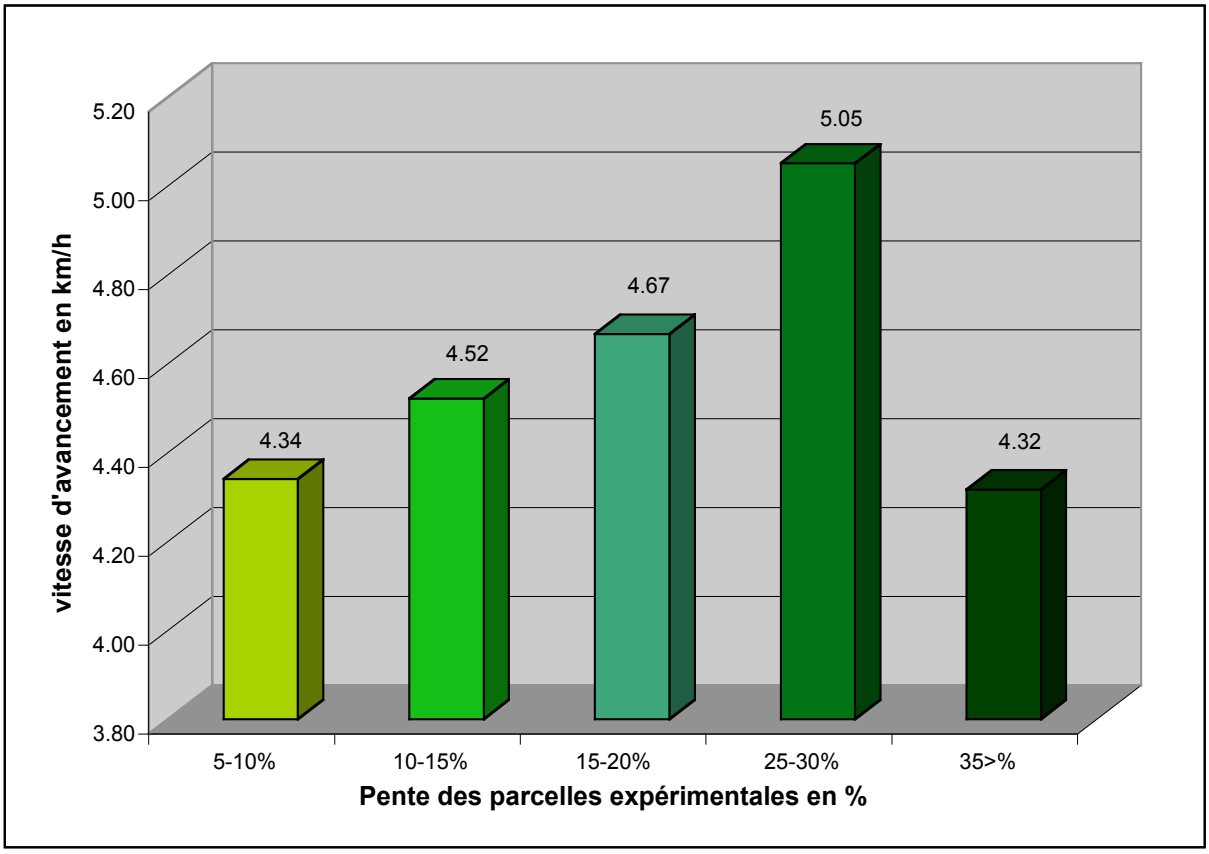
Pour l'option « tracteur 65 CV + barre de sarclage travaux par tiers »

- Le nombre d'heures de traction mécanique était multiplié par le coût horaire tracteur, élaboré d'après une utilisation annuelle de 600 heures selon le tarif FAT 2006. En plus du coût tracteur, la rémunération de la main-d'œuvre était ajoutée. Le coût de revient du porte-outils, calculé sur une surface annuelle de septante hectares, était ensuite rajouté au résultat précédent pour donner un coût « de la traction mécanique » totale. La remarque, concernant le coût de MO pour l'option précédente, est également valable pour ce cas de figure-ci.

5. Résultats

5.1 Résultats de productivité pour l'essai « vigne en coteaux»

5.1.1 Vitesse d'avancement du cheval



40. Graphique : Vitesse d'avancement du cheval en fonction de la pente, pour des vignes mi-hautes en coteaux, les lignes orientées nord-sud.

Sur ce premier graphique, on observe une augmentation de la vitesse d'avancement du cheval au fur et à mesure de l'augmentation de la pente, avec un décrochement à partir de 35% de pente environ. La vitesse d'avancement la plus rapide, semble être atteint avec la pente de 25-30%.

Au niveau de l'analyse des résultats (analyse de variance à un facteur contrôlé), « les vitesses d'avancement » sont significativement différentes (P valeur< 0.1% au seuil de 95%) en fonction de la pente (voir tableau ci-dessous).

Vitesse d'avancement	5-10% (4,34 Km/h)	10-15% (4,52 Km/h)	15-20% (4,67 Km/h)	25-30% (5,05 Km/h)	35>% (4,32km/h)
5-10% (4,34 Km/h)	-----	SNS*	SNS*	SS*	SNS*
10-15% (4,52 Km/h)	SNS*	-----	SNS*	SNS*	SNS*
15-20% (4,67 Km/h)	SNS*	SNS*	-----	SS*	SNS*
25-30% (5,05 Km/h)	SS*	SNS*	SS*	-----	SS*
35>% (4,32 Km/h)	SNS*	SNS*	SNS*	SS*	-----

*SS = statistiquement significatif

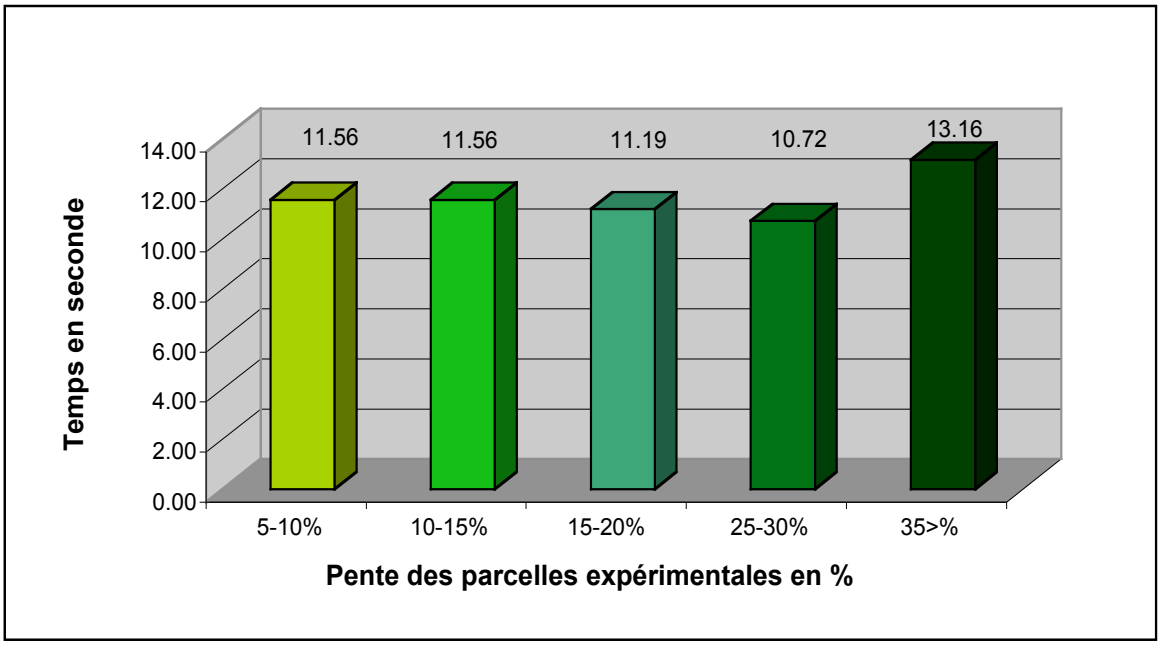
*SNS = statistiquement non significatif

41. *Tableau : Résultats de l'analyse statistique de la vitesse d'avancement du cheval en fonction de la pente, pour des vignes mi-hautes en coteaux, les lignes orientées nord-sud.*

Concernant les vitesses d'avancement « statistiquement non significatif », il n'a pas été possible d'observer des différences par rapport aux parcelles respectives, sans pour autant affirmer qu'elles sont identiques.

42. *Figure : Mesure de la vitesse d'avancement pour l'essai « vigne en coteaux » (source personnelle).*

5.1.2 Temps nécessaire pour les manœuvres en fin de ligne



43. Graphique temps nécessaire au cheval pour les manœuvres en fin de ligne, pour le griffage d'un interligne sur deux, en fonction de la pente, pour des vignes mi-haute en coteaux, les lignes orientées nord-sud.

Sur le graphique ci-dessus, on observe assez peu de différences de temps pour les manœuvres en fin de ligne en fonction de la pente. Seule la parcelle « 35>% de pente' semble se différencier des autres. Au niveau de l'analyse statistique des résultats (analyse de variance à un facteur contrôlé), « le temps nécessaire au retour de ligne » est significativement différent (P valeur 1,9% au seuil de 95%) en fonction de la pente uniquement entre la parcelle 25-30% et 35>% (voir tableau ci-dessous).

Temps pour les manoeuvres	5-10% (11.56'')	10-15% (11.56'')	15-20% (11.19'')	25-30% (10.72)	35>% (13.16)
5-10% (11.56'')	-----	SNS*	SNS*	SNS*	SNS*
10-15% (11.56'')	SNS*	-----	SNS*	SNS*	SNS*
15-20% (11.19'')	SNS*	SNS*	-----	SNS*	SNS*
25-30% (10.72)	SNS*	SNS*	SNS*	-----	SS*
35>% (13.16)	SNS*	SNS*	SNS*	SS*	-----

*SS = statistiquement significatif

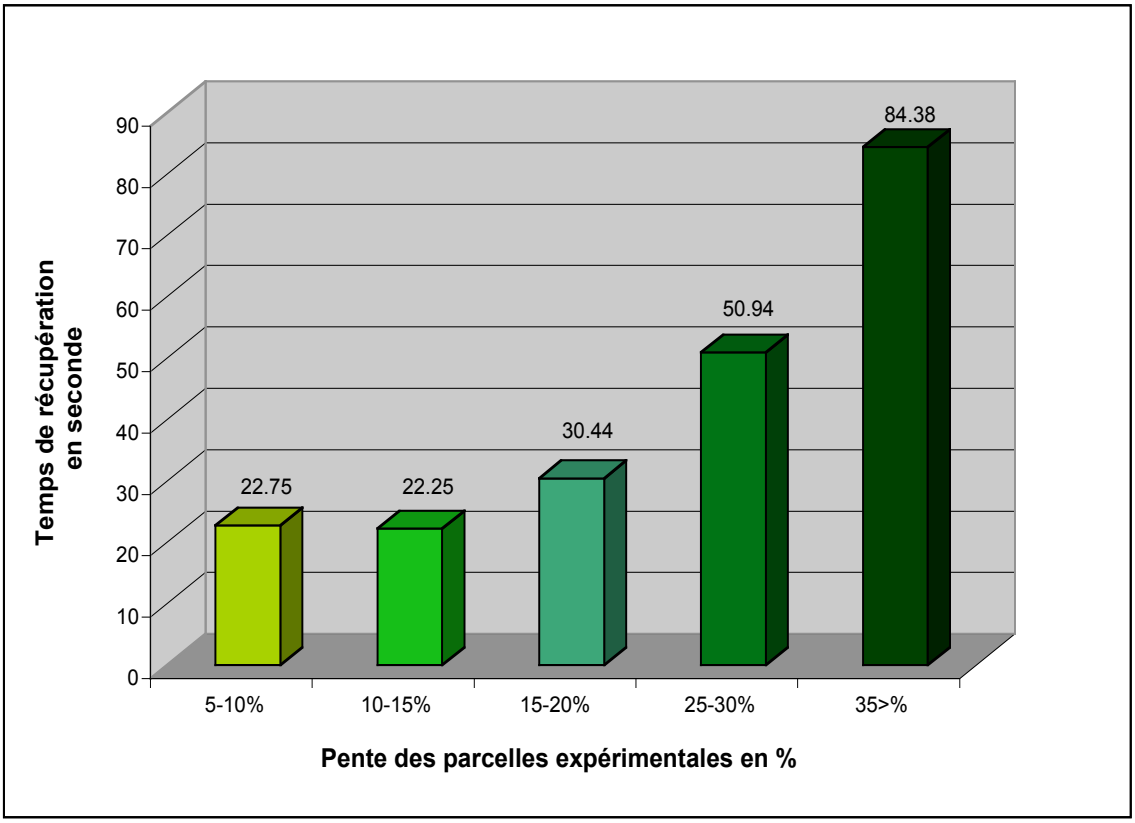
*SNS = statistiquement non significatif

44. *Tableau : Résultats de l'analyse statistique du Temps nécessaire au cheval pour les manœuvres en fin de ligne en fonction de la pente, pour des vignes mi-hautes en coteaux, les lignes orientées nord-sud.*

Concernant « le temps nécessaire manœuvres en fin de ligne » « statistiquement non significatif », il n'a pas été possible d'observer des différences par rapport aux parcelles respectives, sans pour autant affirmer qu'elles sont identiques.

45. *Figure : Manœuvres en fin de ligne pour changer de rang (source personnelle)*

5.1.3 Temps de récupération en fin de ligne pour le cheval



46. Graphique : Temps de récupération nécessaire au cheval à la fin du deuxième interligne, pour le griffage d'un interligne sur deux, en fonction de la pente, pour des vignes mi-hautes en coteaux, les lignes orientées nord-sud.

Sur ce graphique, on observe un temps de récupération pour le cheval, qui semble croître de façon exponentielle, avec un temps de récupération le plus long pour la parcelle cinq « 35>% de pente ».

Au niveau de l'analyse statistique des résultats (analyse de variance à un facteur contrôlé), « le temps de récupération à la fin du deuxième interligne » est significativement différent (P valeur <0.1%% au seuil de 95%) en fonction de la pente (voir tableau ci-dessous).

Temps de récupération	5-10% (22.75)	10-15% (22.25)	15-20% (30.44)	25-30% (50.94)	35>% (84.38)
5-10% (22.75)	-----	SNS*	SNS*	SS*	SS*
10-15% (22.25)	SNS*	-----	SNS*	SS*	SS*
15-20% (30.44)	SNS*	SNS*	-----	SS*	SS*
25-30% (50.94)	SS*	SS*	SS*	-----	SS*
35>% (84.38)	SS*	SS*	SS*	SS*	-----

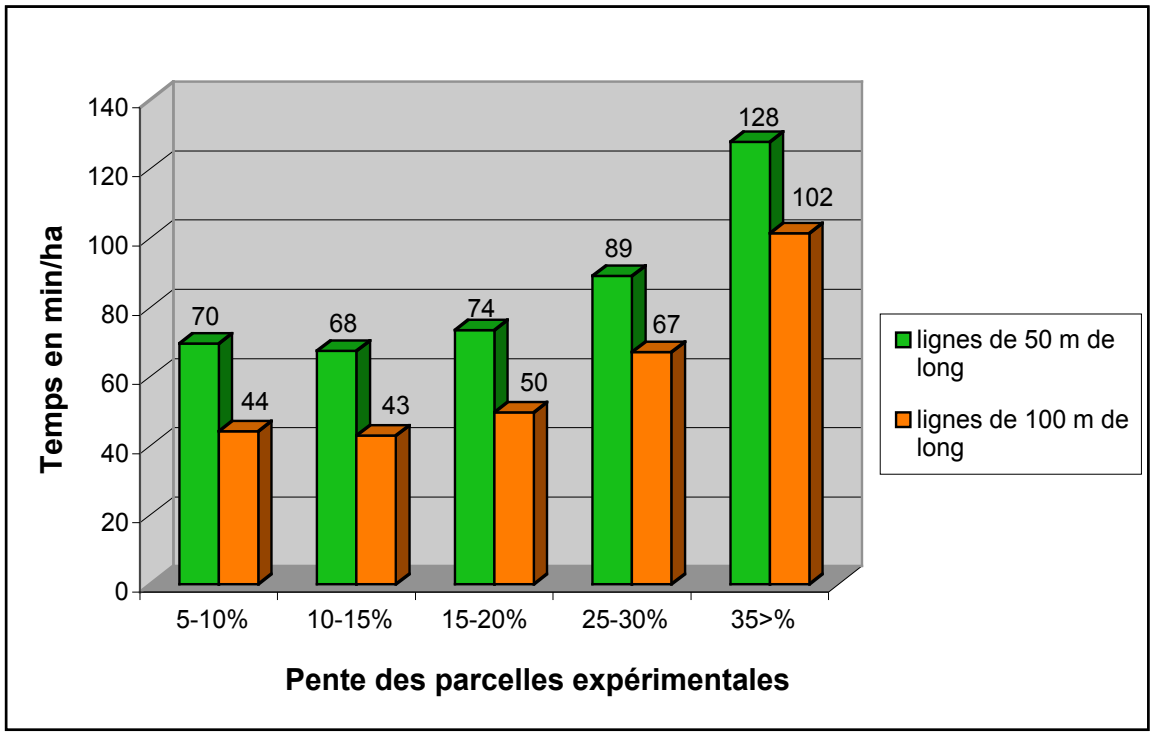
*SS = Statistiquement significatif

*SNS = Statistiquement non significatif

47. Tableau : Résultats de l'analyse statistique du temps de récupération nécessaire au cheval, à la fin du, deuxième interligne, en fonction de la pente, pour des vignes mi-hautes en coteaux, les lignes orientées nord-sud.

Concernant « le temps de récupération, en seconde à la fin du deuxième interligne » « statistiquement non significatif », il n'a pas été possible d'observer des différences par rapport aux parcelles respectives, sans pour autant affirmer qu'elles sont identiques.

5.1.4 Modélisation du temps de travail par ha pour le cheval et la chenillette porte-outils

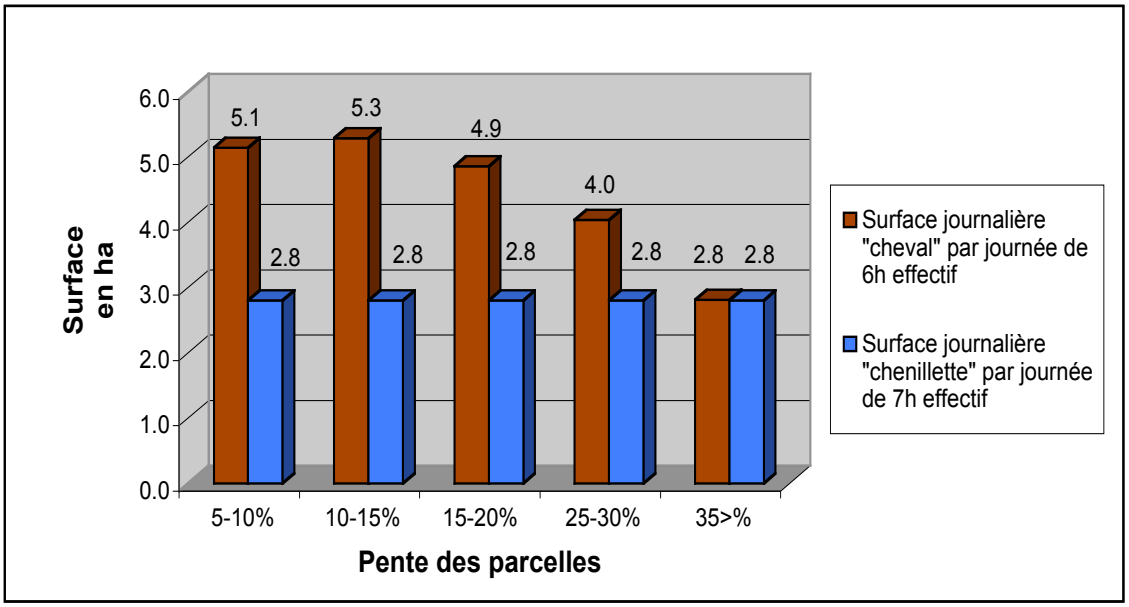


48. Graphique : Modélisation du temps de travail par hectare « cheval », pour le griffage d'un interligne sur deux, en fonction de la pente et de la longueur des lignes pour des vignes mi-hautes en coteaux, les lignes orientées nord-sud.

Sur ce graphique 49, on observe un temps de travail par hectare croissant à mesure que la pente augmente. Cet effet est d'autant plus marqué, dès que la parcelle atteint 25-30% et surtout 35>% de pente. Il semble assez peu différent entre 5 et 20 % de pente.

On remarquera également l'impact de la longueur des lignes de travail sur l'économie d'échelle, avec une fréquence plus faible des manœuvres en fin de ligne, permettant ainsi une plus grande productivité et ce, quel que soit le type de traction.

5.1.5 Modélisation de la productivité maximale journalière pour l'essai « vigne en coteaux »



49. Graphique : Modélisation de la productivité maximale journalière, pour le griffage d'un interligne sur deux, en fonction de la pente et du type de traction pour des vignes mi-hautes en coteaux, les lignes orientées nord-sud.

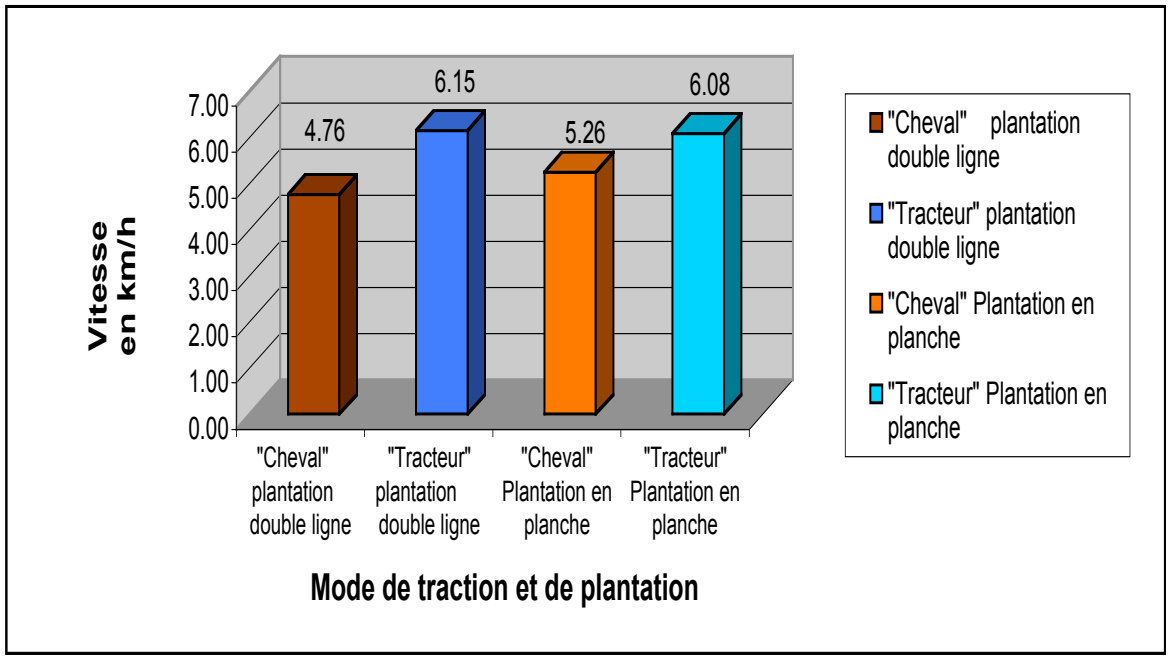
Ce graphique montre bien l'effet de la pente sur la productivité journalière pour le système traction animale, avec une diminution progressive de la surface travaillée parallèlement à une augmentation de la pente, jusqu'à atteindre la même valeur que la chenillette porte-outils dès 35>% de pente.

Il est bien clair, que ces résultats sont le fruit d'une modélisation et qu'ils représentent donc une surface travaillée potentielle selon la productivité des deux systèmes de traction, en considérant une journée de travail de 7 heures pour la chenillette et de 6 heures pour le cheval, heures effectives, sans pause.

Ne sont pas compris dans les calculs : la forme, la dimension et la répartition spatiale des parcelles propre à chaque exploitation.

5.2 Résultats de productivité pour l'essai « plantes aromatiques et médicinales»

5.2.1 Vitesse d'avancement cheval et tracteur



50. Graphique : Vitesse d'avancement pour le sarclage des plantes aromatiques, en fonction du type de traction et du mode de plantation

Concernant le sarclage des plantes aromatiques, on peut observer une vitesse d'avancement du tracteur supérieure à celle du cheval dans les deux modes de plantations. Le cheval est légèrement plus rapide dans le mode de plantation « en planche »

Au niveau de l'analyse statistique des résultats (analyse de variance), « La vitesse d'avancement en fonction du type de traction, pour le mode de plantation en double-ligne » est significativement différent (P valeur au seuil de 95%=<0.1% pour la première mesure et 1% pour la deuxième mesure).

Pour le mode de plantation en planche » la P valeur = 2.1 % au seuil de 95%.(voir tableau ci-dessous).

Vitesse pour le mode de plantation « en double ligne »	Cheval	Tracteur
Cheval	**-----**	**SS***
Tracteur	**SS***	**-----**

*SS = Statistiquement significatif

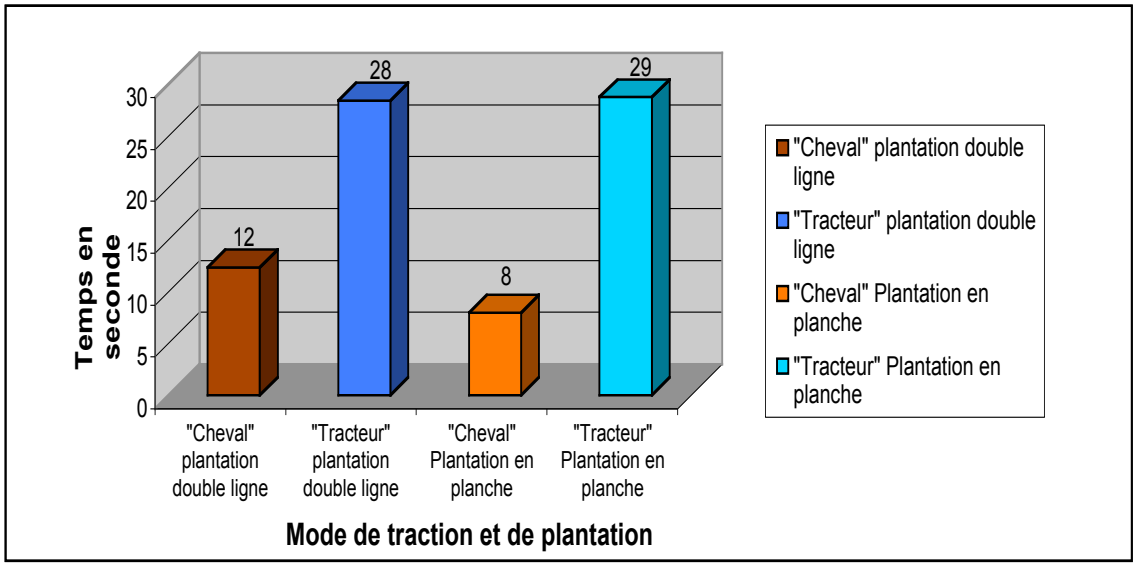
Vitesse pour le mode de plantation « en planche »	Cheval	Tracteur
Cheval	**-----**	**SS***
Tracteur	**SS***	**-----**

*SS = statistiquement significatif

51. Tableau : Résultats de l'analyse statistique « vitesse d'avancement » pour le sarclage des plantes aromatiques, en fonction du type de traction et du mode de plantation.

52. Figure : Mesure de la vitesse d'avancement en fonction du type de traction pour le mode de plantation en « double ligne » (source personnelle).

5.2.2 Temps nécessaire aux manœuvres en fin de ligne



53. Graphique : Temps nécessaire aux manœuvres en fin de ligne, pour le sarclage des plantes aromatiques, en fonction du type de traction et du mode de plantation.

Pour le temps nécessaire aux manœuvres en fin de ligne, on observe une tendance inverse par rapport au graphique 50, à savoir que le tracteur met plus de temps pour manœuvrer en fin de ligne comparativement au cheval.

Concernant l'influence du mode de plantation, on retrouve les mêmes tendances que pour la vitesse d'avancement. Le tracteur semble peu influencé par le mode de conduite tandis que le cheval semble manoeuvrer plus rapidement dans le mode de plantation en planche.

Toutefois ces différences sont à prendre avec précaution. En effet, pour des raisons propres aux statistiques, les manœuvres en fin de ligne pour l'essai « en double ligne » ont été effectués une double ligne sur deux (deux doubles lignes = 1 bloc), tandis que pour l'essai « en planche » les deux planches de l'unité expérimentales étaient côte à côte pour les deux types de traction.

Au niveau de l'analyse statistique des résultats (analyse de variance), « Le temps nécessaire pour le retour de ligne en fonction du type de traction pour le mode de plantation en double ligne et en planche » est significativement différent (P valeur <0.1% au seuil de 95% pour les deux modes de plantation) (voir tableau ci-dessous).

Temps de manoeuvre pour le mode de plantation « en double ligne »	Cheval	Tracteur
Cheval	**-----**	**SS***
Tracteur	**SS***	**-----**

*SS = Statistiquement significatif

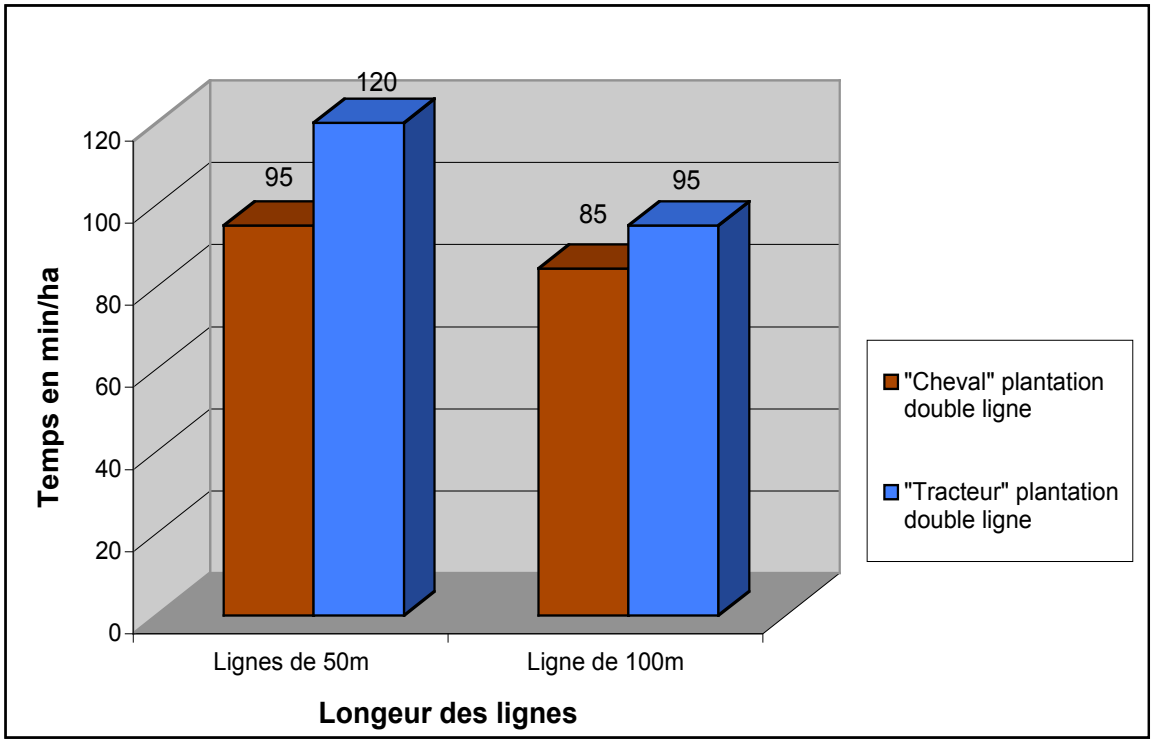
Temps de manoeuvre pour le mode de plantation « en planche »	Cheval	Tracteur
Cheval	**-----**	**SS***
Tracteur	**SS***	**-----**

*SS = statistiquement significatif

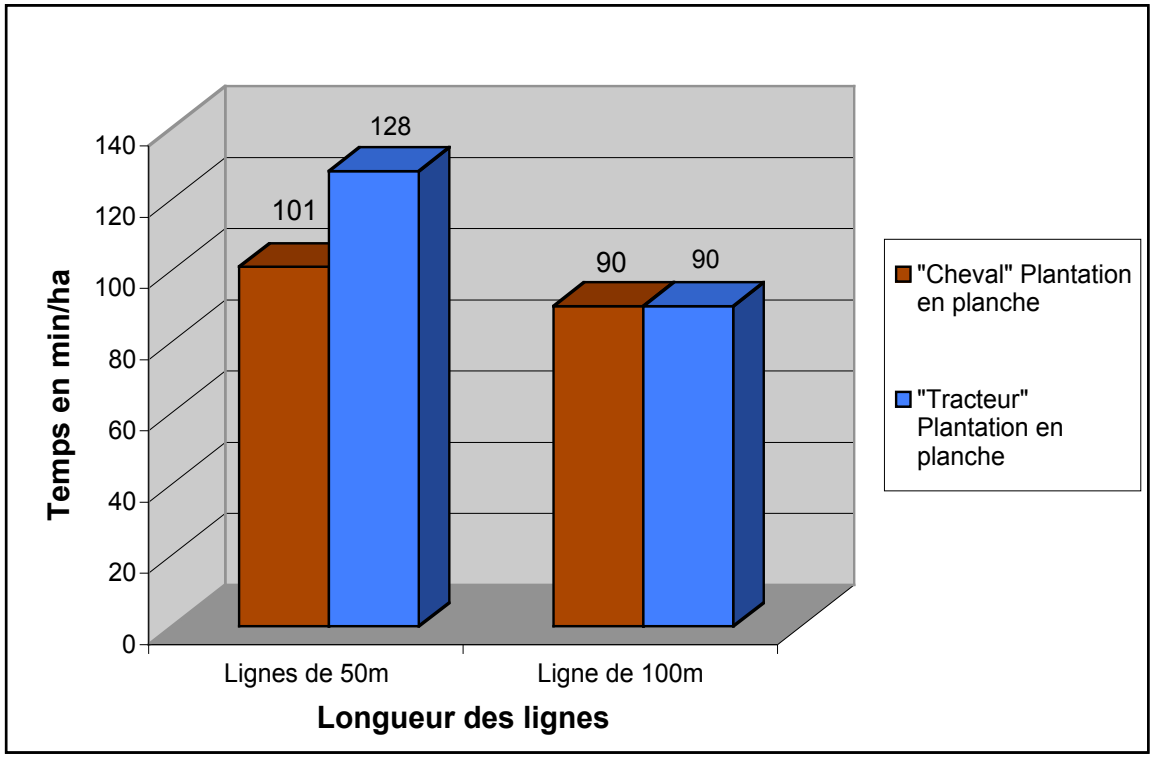
54. Tableau : Résultats de l'analyse statistique « Temps nécessaire aux manœuvres en fin de ligne », pour le sarclage des plantes aromatiques, en fonction du type de traction et du mode de plantation.

55. Figure : Manœuvre en fin de ligne pour le système de traction animal,e pour le mode de plantation en « double ligne » (source personnelle).

5.2.3 Modélisation du temps de travail par ha pour le cheval et le tracteur



56. Graphique : Modélisation du temps de travail par ha, pour le sarclage des plantes aromatiques, en fonction du type de traction pour le mode de plantation « en double ligne »



57. Graphique : Modélisation du temps de travail par ha, pour le sarclage des plantes aromatiques, en fonction du type de traction pour le mode de plantation « en planche ».

Sur les deux graphiques du temps de travail par hectare, on observe trois tendances générales :

- Un temps de travail par hectare plus long avec le tracteur par rapport au cheval dans les deux modes de plantation.

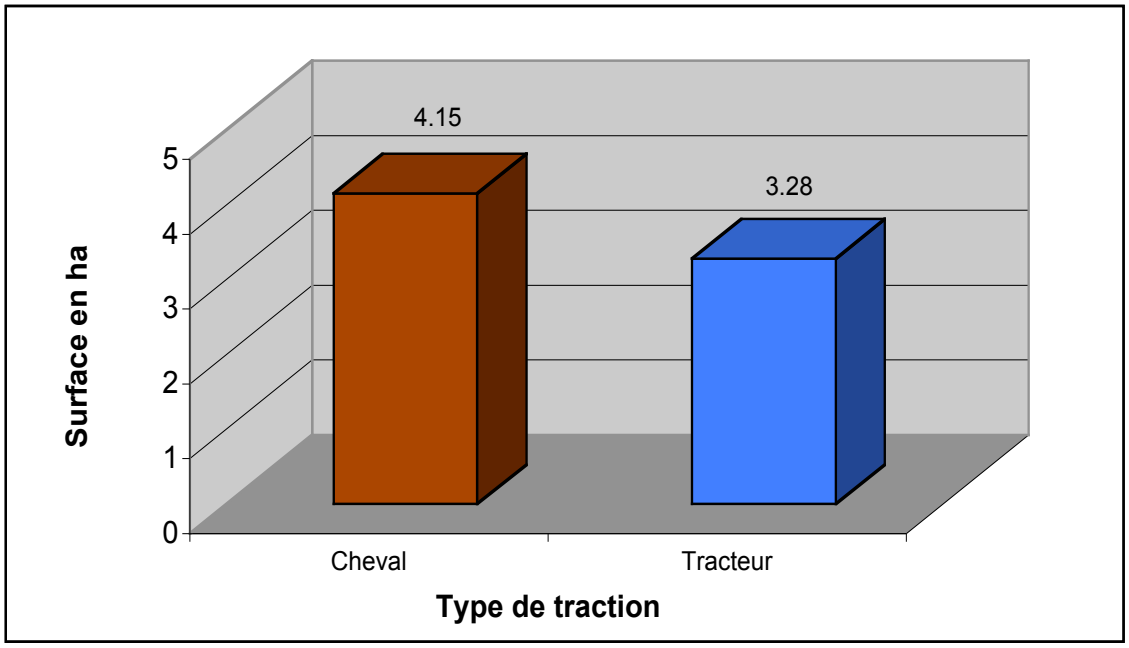
- Une différence nettement moins marquée entre les deux types de traction, voire aucune, lorsque les lignes sont deux fois plus longues. Ce qui nous montre une fois de plus l'importance de la forme de la parcelle sur la productivité des différents systèmes de traction (économie d'échelle par une fréquence plus faible des manœuvres en fin de ligne).

- Un temps de travail par hectare plus court en mode de plantation « double ligne », pour les deux types de traction, à cause de la largeur de travail plus grande (1.6 m de large contre 1.5 m pour le mode de conduite en planche).

Concernant les résultats du temps de travail par hectare pour le cheval, les chiffres étaient obtenus en faisant une moyenne de la vitesse d'avancement et des manœuvres en fin de lignes entre les deux modes de plantation afin d'être le plus représentatif possible.

Toutefois, il est important de préciser que ces résultats sont obtenus par extrapolation des résultats de productivité et que la durée du travail correspond à des temps de travaux effectifs, sans pause.

5.2.4 Modélisation de la productivité maximale journalière pour l'essai «plantes aromatiques et médicinales»

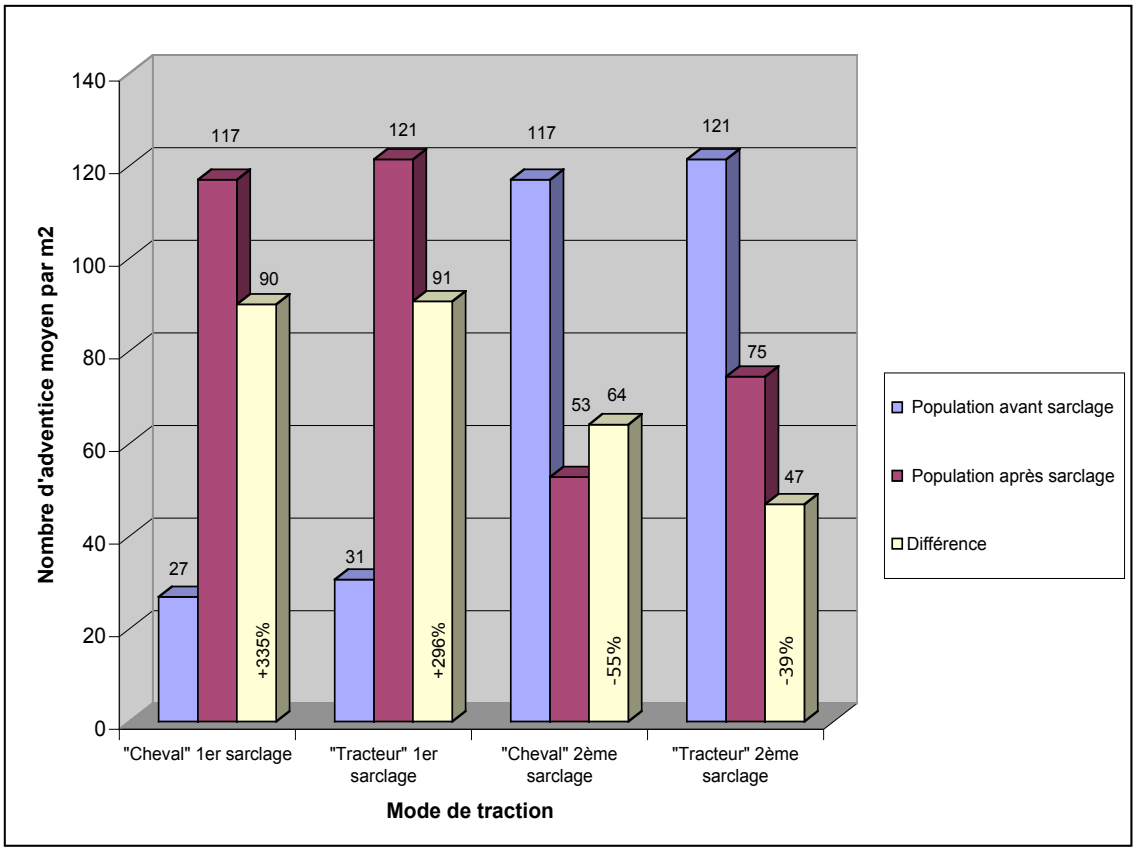


58. Graphique : Modélisation de la productivité maximale journalière, pour le sarclage des plantes aromatiques, en fonction du type de traction, pour une largeur de travail d'un mètre cinquante et des lignes de 50 m de long.

Les chiffres du graphique ci-dessus sont une suite logique, des résultats du graphique 57, en considérant une journée de travail de 7 heures effectives, sans pause.

Il est bien clair, que ces résultats sont le fruit d'une modélisation et qu'ils représentent donc une surface travaillée potentielle selon la productivité des deux systèmes de traction.

5.2.5 Qualité du désherbage en fonction du type de traction

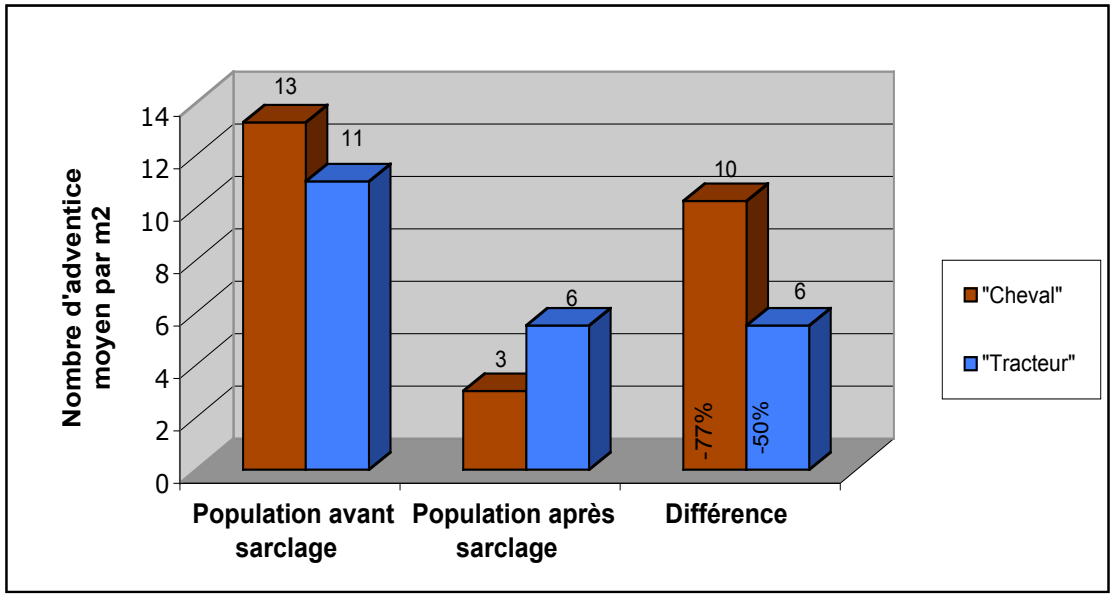


59. Graphique : Mesure de la qualité du sarclage, pour le désherbage des plantes aromatiques, en fonction du type de traction pour le mode de plantation « en double ligne ».

Concernant la qualité du travail effectué pour le mode de plantation « en planche », on observe deux résultats totalement différents et contradictoires. Un premier relevé ou le nombre d'adventices moyen par m^2 est beaucoup plus élevé après sarclage tandis que la deuxième mesure montre une tendance logique avec un nombre d'adventices moyen par m2 diminué de 55% et 39% respectivement pour le cheval et le tracteur. Cet écart s'explique aisément par le facteur météo. En effet, après le premier sarclage, il a plu 60 mm/m2, le lendemain, alors qu'après la seconde opération, il a fait plusieurs jours de beau consécutif. Toutefois, après analyse statistique (test non paramétrique), aucune différence significative n'a pu être observée (P valeur au seuil de 95% = 100% pour la première mesure et 41.4% pour la deuxième mesure) entre les deux types de traction au niveau de la qualité technique du travail-sans pour autant affirmer l'égalité des deux traitements (voir tableau ci-dessous).

Qualité du désherbage pour le mode de plantation « en double ligne »	**Cheval**	**Tracteur**
Cheval	**-----**	**SNS***
Tracteur	**SNS***	**-----**

60. Tableau : Résultats de l'analyse statistique « mesure de la qualité du sarclage » pour le désherbage des plantes aromatiques, en fonction du type de traction pour le mode de plantation « en double ligne ».



61. Graphique : Mesure de la qualité du sarclage, pour le désherbage des plantes aromatiques, en fonction du type de traction pour le mode de plantation « en planche ».

Pour le mode de plantation en planche, on remarque la même tendance que ci-dessus avec les mêmes conclusions, à savoir qu'il n'a pas été possible de différencier significativement les deux modes de traction en termes de nombre d'adventices moyen par m2, avant et après sarclages.

En effet, l'analyse statistique des résultats (test non paramétrique) ne montre aucune différence significative (P valeur au seuil de 95% = 100%) entre les deux types de traction, au niveau de la qualité du travail, sans pour autant affirmer l'égalité des deux traitements. (voir tableau ci-dessous).

Qualité du désherbage pour le mode de plantation « en planche »	**Cheval**	**Tracteur**
Cheval	**-----**	**SNS***
Tracteur	**SNS***	**-----**

*SNS = Statistiquement non significatif

62. Tableau : Résultats de l'analyse statistique « mesure de la qualité du sarclage » pour le désherbage des plantes aromatiques, en fonction du type de traction pour le mode de plantation « en planche ».

D'un point de vue qualitatif, on retrouvait principalement, par ordre décroissant,le mouron des oiseaux (*Stellaria media*) > pâturin annuel (*Poa annua*) > Véroniques (*Véronica persica et V. hederifolia*)> chénopode blanc (*Chenopodium album*) et capselles bourse-à-pasteur (*Capsella bursa-pastoris*).

La majorité des adventices présentent lors des sarclages, étaient au stade cotylédon jusqu'à quatre vraies feuilles.

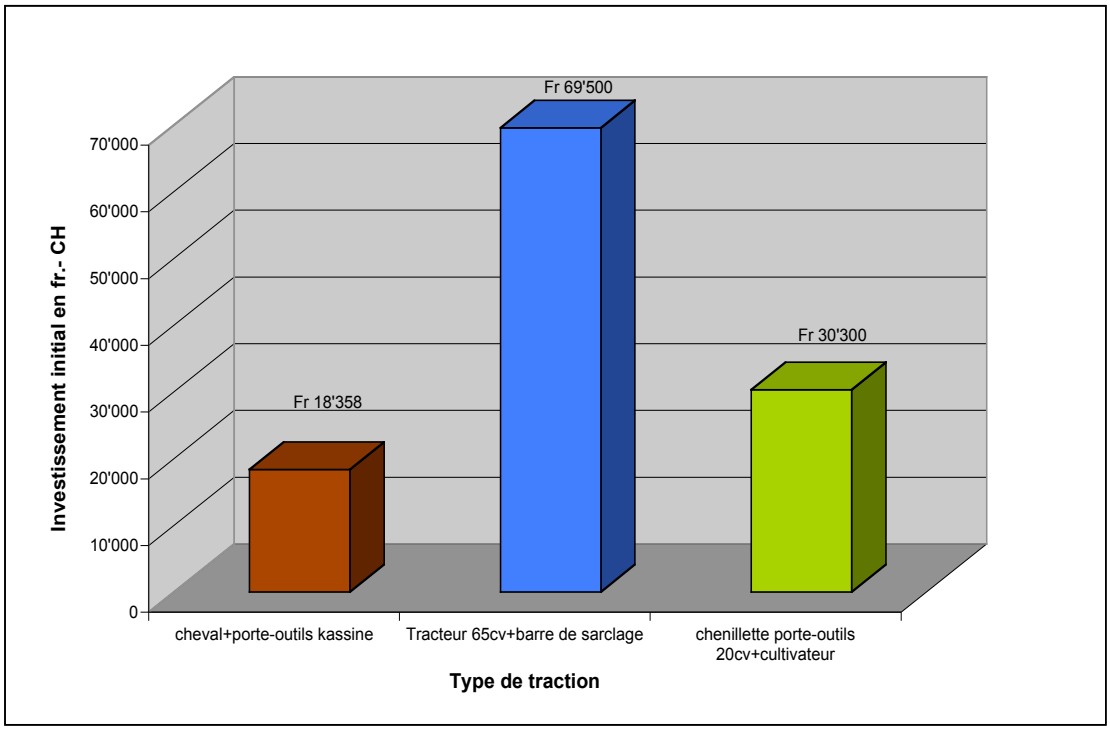
63. *Figure : Levé d'adventices après sarclage au stade cotylédon à deux vrais feuilles (source personnelle).*

64. *Figure :Comptage des adventices sur le bloc N°1, unité expérimentale « traction mécanique », mode de plantation en double ligne (source personnelle).*

65. *Figure : Malgré une réduction importante des adventices par le sarclage mécanique, le désherbage manuel reste une réalité dans la gestion des cultures de plantes aromatiques et médicinales (source personnelle).*

6. Analyse économique

6.1 Coût d'investissement initial et répartition selon le type de traction



66. Graphique : Coût d'investissement initial pour les essais « vignes en coteaux et plantes aromatiques » en fonction du type de traction ».

Sur ce graphique 20, sont représentés les coûts d'investissement initiaux :

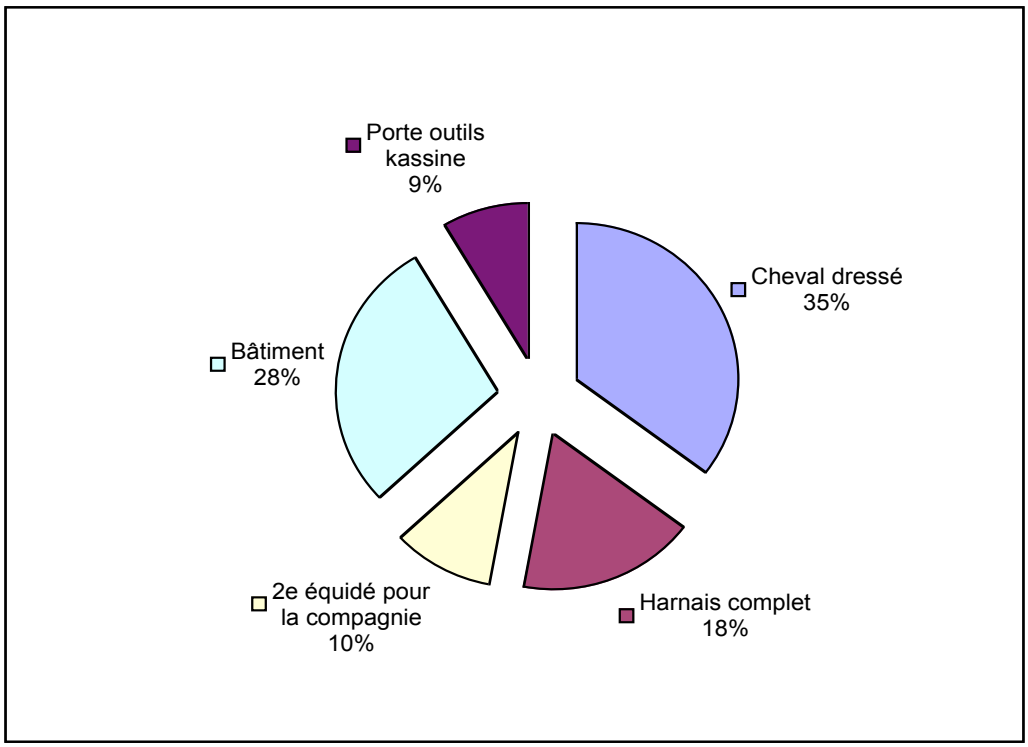
- Pour l'essai « vigne en coteaux » dont le travail consiste à un griffage d'un interligne sur deux (six passage par année), afin de diminuer la concurrence du gazon et donc l'impact négatif du stress hydro-azoté sur les qualités organoleptiques des vins lors de la vinification. Ce griffage précède également l'application de la préparation biodynamique « 500 préparé » une fois au printemps et à l'automne.
- Pour l'essai « plantes aromatiques et médicinales » dont le travail consiste à désherber mécaniquement par le biais de sarclages successifs (six passages annuels pris comme base pour les calculs) des cultures des plantes aromatiques

Le montant des coûts d'investissement initiaux selon le mode de traction est, par ordre décroissant :

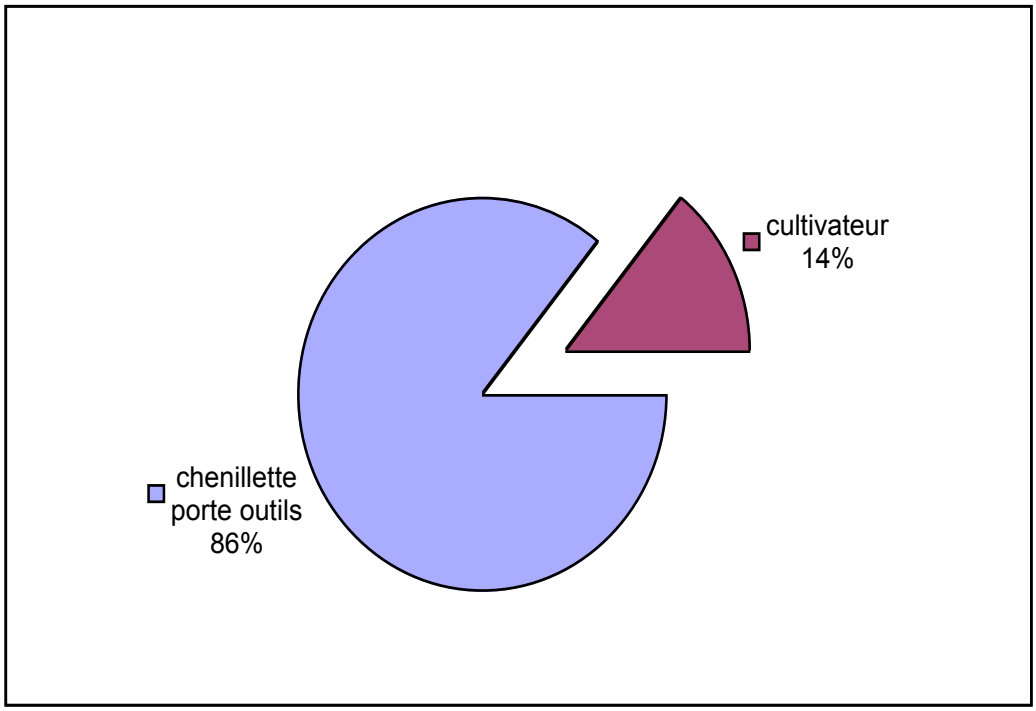
« le tracteur de 65 CV +la barre de sarclage » **>** « La chenillette porte-outils + le cultivateur » **>** « le cheval + le porte outils kassine équipé ».

Le prix d'investissement de base «cheval+porte outils kassine» reste identique pour la vigne et les plantes aromatiques. En effet le porte outils kassine reste le même et, dans un cas, la barre est équipée de trois grosses dents vibrantes munis de socs

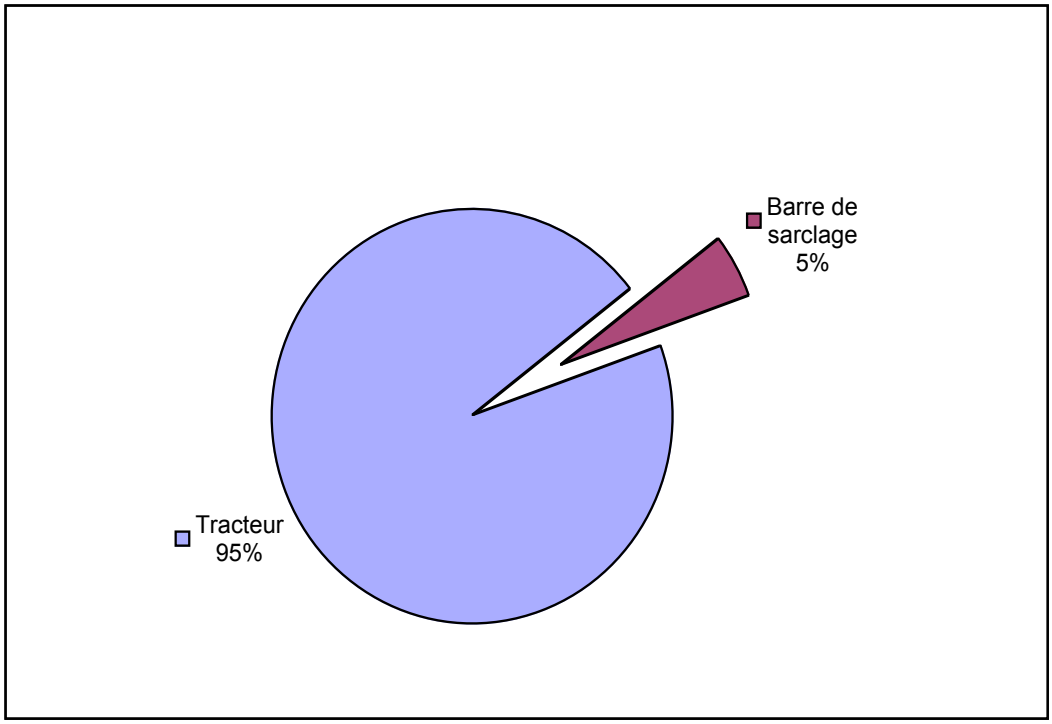
étroits tandis que, pour le sarclage, la barre est munie de quatre à six (selon le mode de plantation) petites dents rigides équipées de soc type « patte d'oie » et de deux patins pour tenir l'équilibre et garder une profondeur de travail constante.



67. Graphique : Répartition des coûts d'investissement initiaux pour les essais « vignes en coteaux et plantes aromatiques » pour la variante « traction animale+porte-outils équipé ».



68. Graphique : Répartition des coûts d'investissement initiaux pour l'essai « vignes en coteaux » pour la variante « chenillette porte outils 20 CV+cultivateur ».

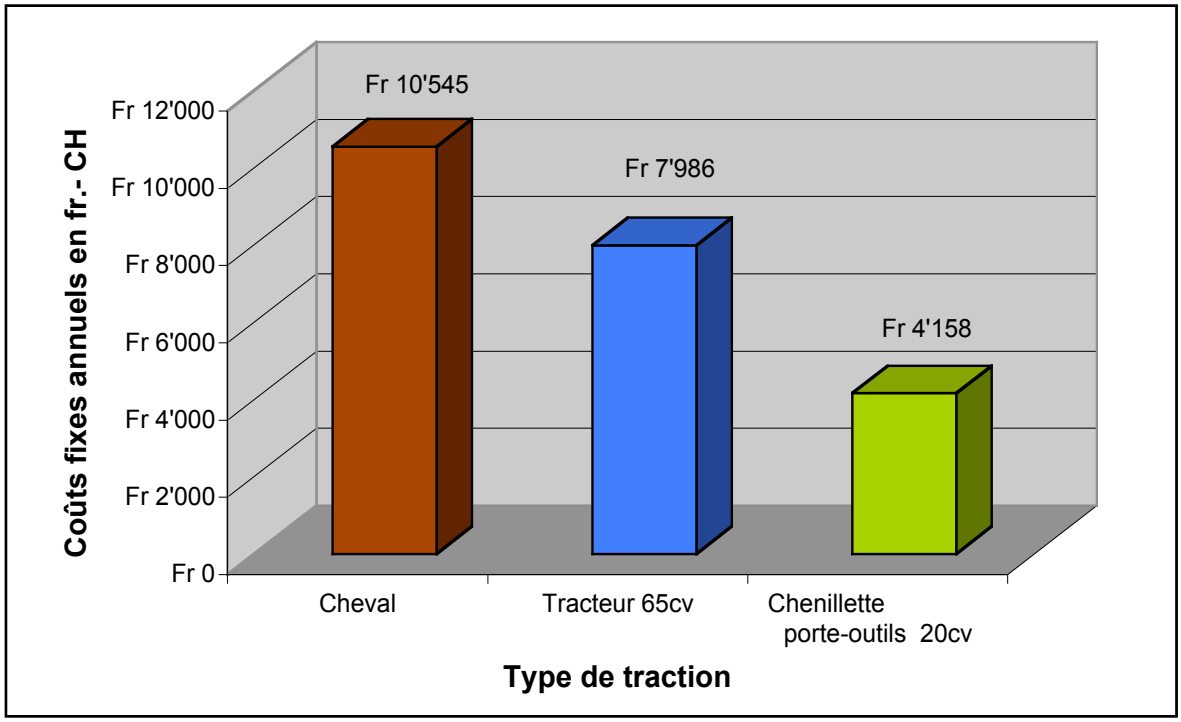


69. Graphique : Répartition des coûts d'investissement initiaux pour l'essai « plantes aromatiques et médicinales » pour la variante « tracteur 65 CV + barre porte outils équipé ».

Sur ces trois graphiques précédents on relève plusieurs constatations :

- Les trois postes d'investissement les plus importants pour la variante traction animale sont : L'achat de l'animal lui-même (35%) > le coût du bâtiment pour le cheval et l'équidé de compagnie en stabulation libre (28%) (Interdiction de garder un équidé seul, selon la loi sur la protection des animaux) > le coût du harnais pour le travail de traction (18%).
- Plus le prix d'achat d'un système de traction (tracteur, chenillette porte-outils, cheval…) est élevé, plus la part de l'équipement accessoire diminue en proportion du capital total investi.
- Les systèmes de traction « mécanique » possèdent une répartition des coûts initiaux plus simples avec un besoin moindre en structures annexes (bâtiments, matériel lié au fonctionnement etc.…).

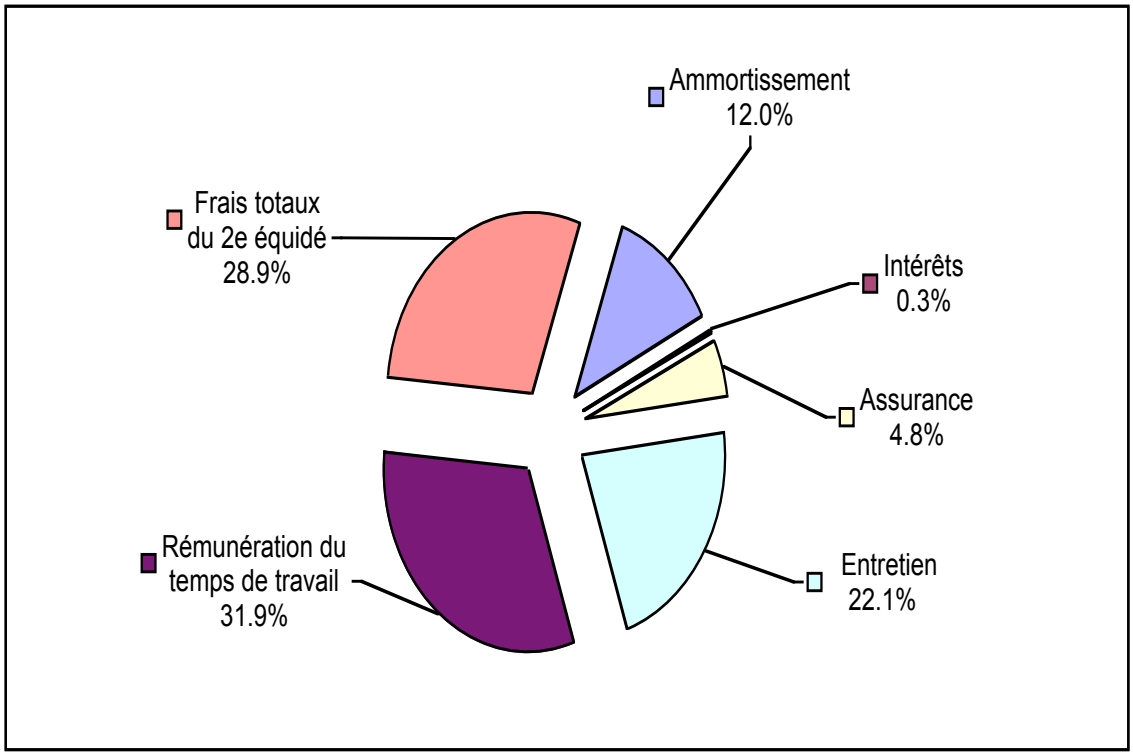
6.2 Coûts fixes annuels et répartition selon le type de traction



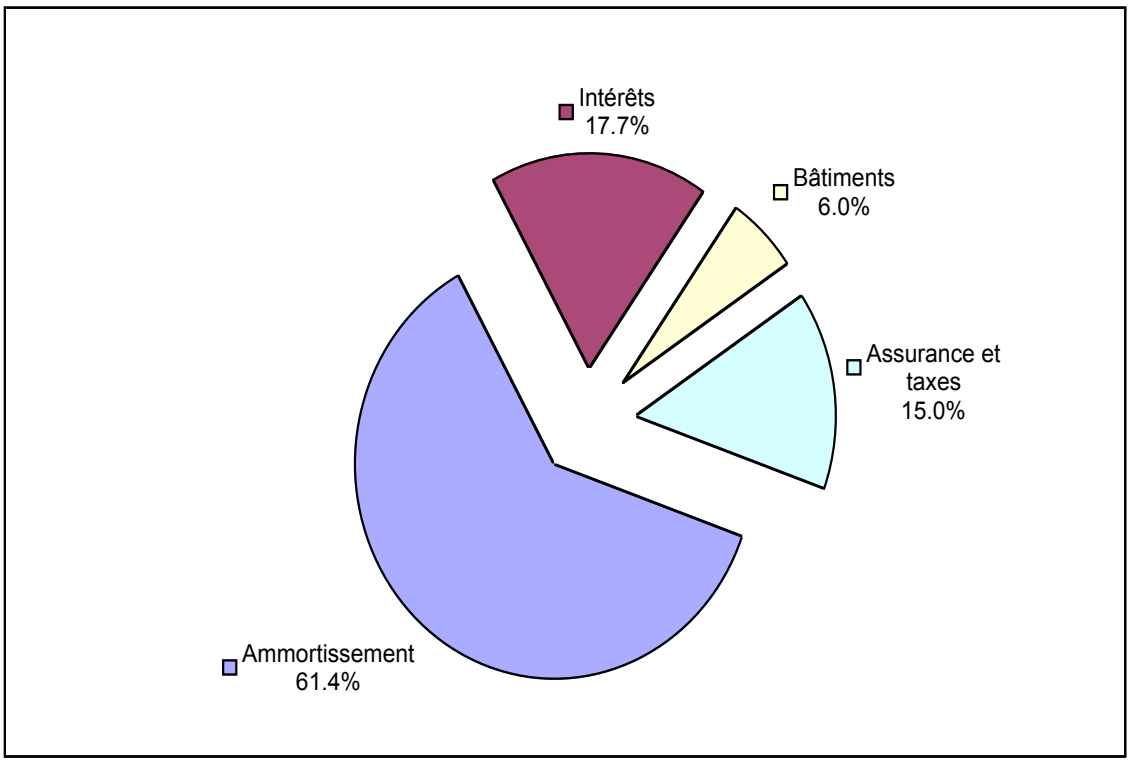
70. Graphique : Coûts fixes annuels totaux pour les essais « vignes en coteaux et plantes aromatiques » en fonction du type de traction ».

Concernant le montant des frais fixes annuels, on remarque une tendance inverse comparativement au graphique 20, avec les frais fixes annuels les plus élevés pour la traction animale suivie du tracteur de 65 CV et de la chenillette porte outils.

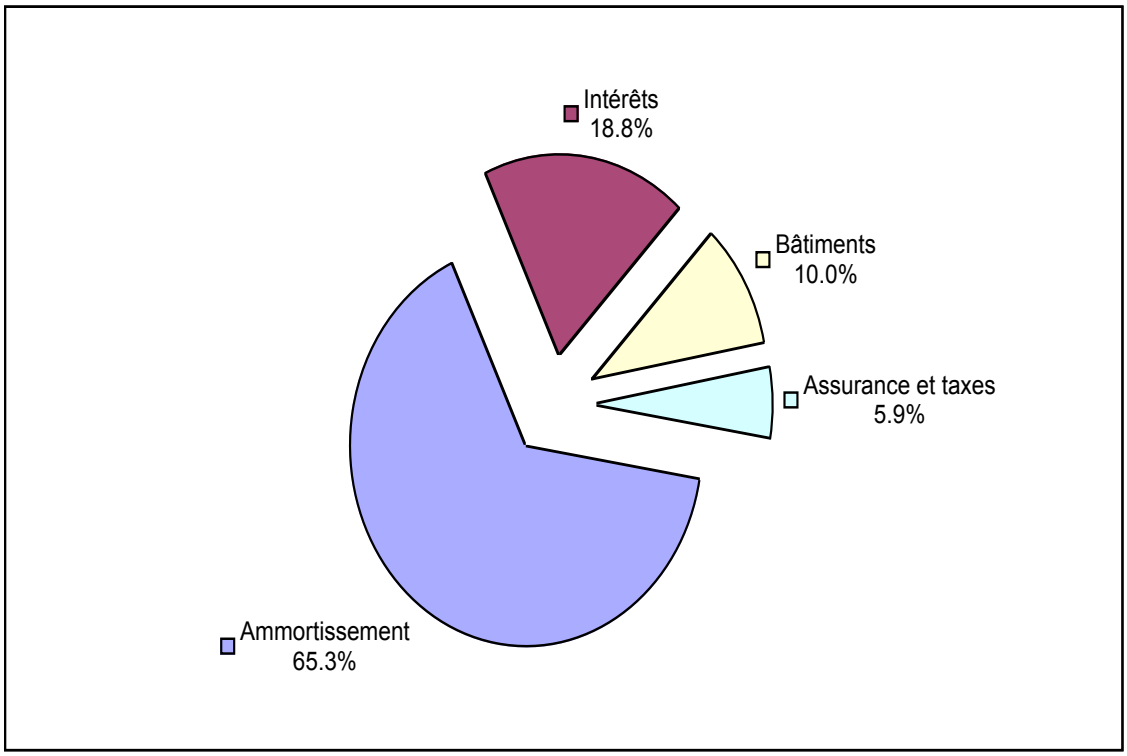
71. Figure : comparativement au système de traction mécanique, le système de traction animale est plus cher en coûts fixes annuels, notamment au niveau des soins et de l'entretien. Ici pansage et harnachement avant le travail (source personnelle).



72. Graphique : Répartition des coûts fixes totaux annuels d'un cheval de trait léger pour les essais « vignes en coteaux et plantes aromatiques ».



73. Graphique : Répartition des coûts fixes totaux annuels d'une chenillette porte outils 20 CV pour l'essai « vignes en coteaux ».



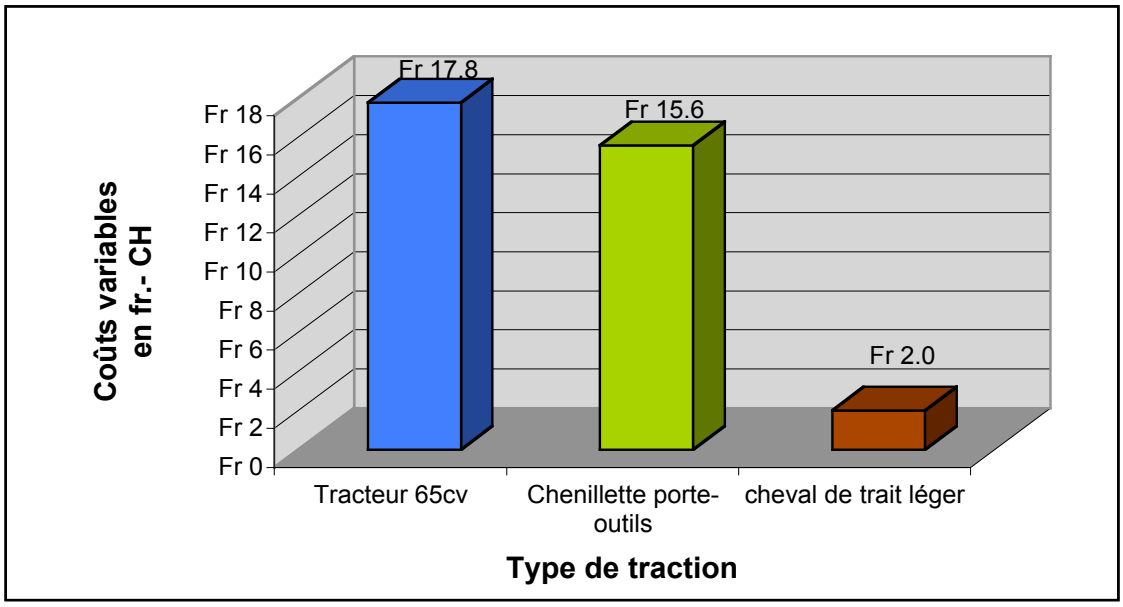
74. Graphique : Répartition des coûts fixes totaux annuels pour l'essai « plantes aromatiques » pour la variante « tracteur 65 CV + barre porte outils équipé ».

Au niveau de la répartition des coûts fixes annuels, le système de traction animale présente des frais d'entretien importants en termes de structure et de rémunération du temps de travail, et ce même lorsque le cheval n'est pas utilisé.

De plus, au niveau de la loi sur la protection des animaux, il est interdit de garder un équidé seul, ce qui augmente également les frais fixes globaux en y ajoutant les frais d'entretien totaux d'un deuxième équidé (poney shetland dans notre cas de figure). Dans cette étude, ce deuxième équidé sert uniquement de compagnon au cheval de trait et n'est pas utilisé pour le travail.

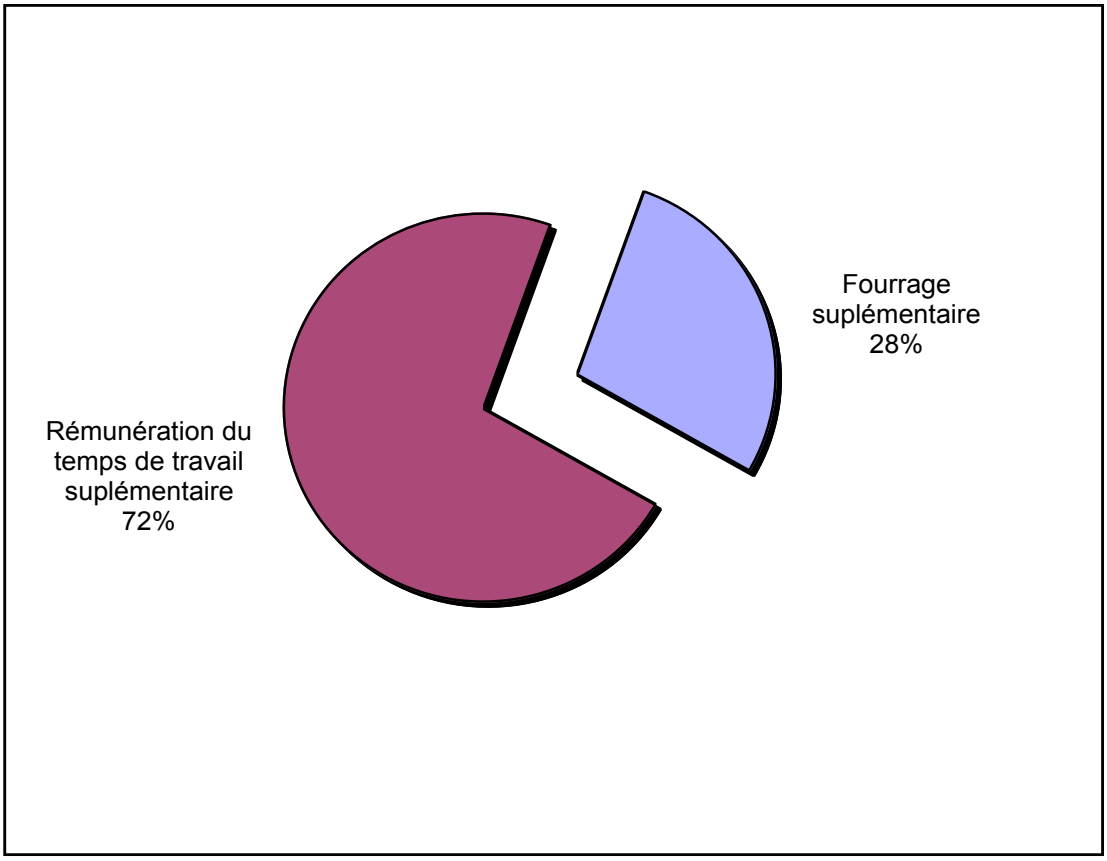
Pour le système de traction mécanique, c'est l'amortissement et les intérêts qui représentent la plus grande part des coûts fixes annuels dus essentiellement au coût d'investissement initial plus important.

6.3 Coûts variables horaires et répartition selon le type de traction

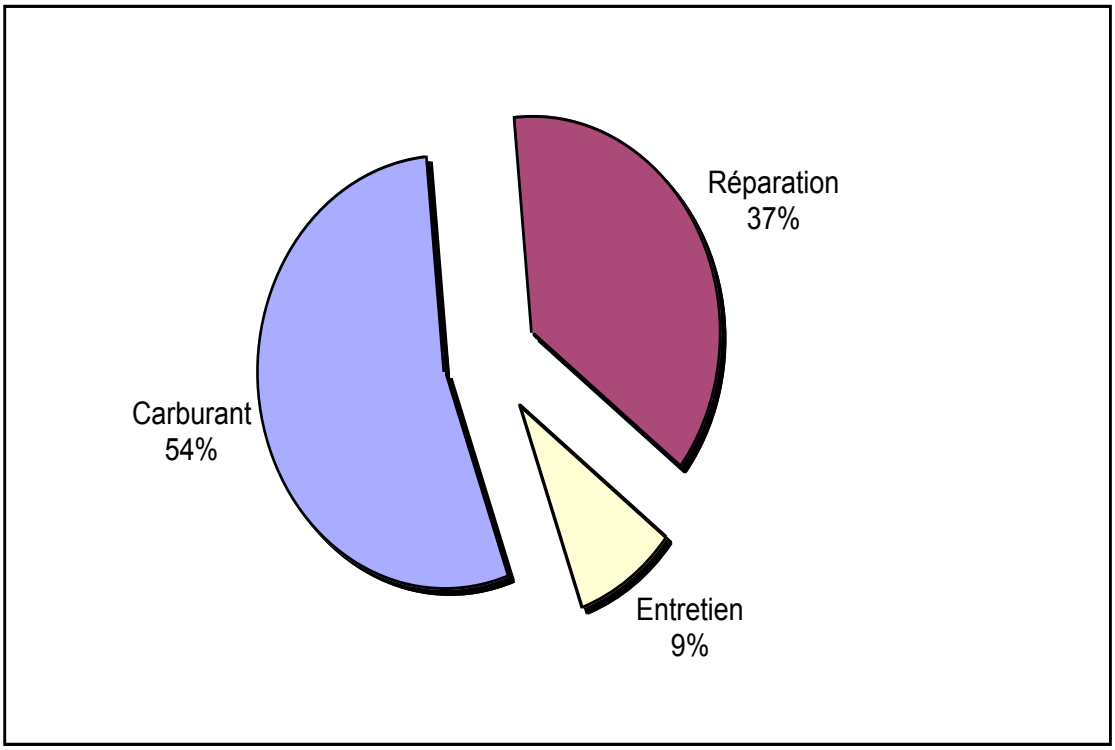


75. Graphique : Coûts variable horaire en fonction du type de traction, pour les essais « vignes en coteaux et plantes aromatiques ».

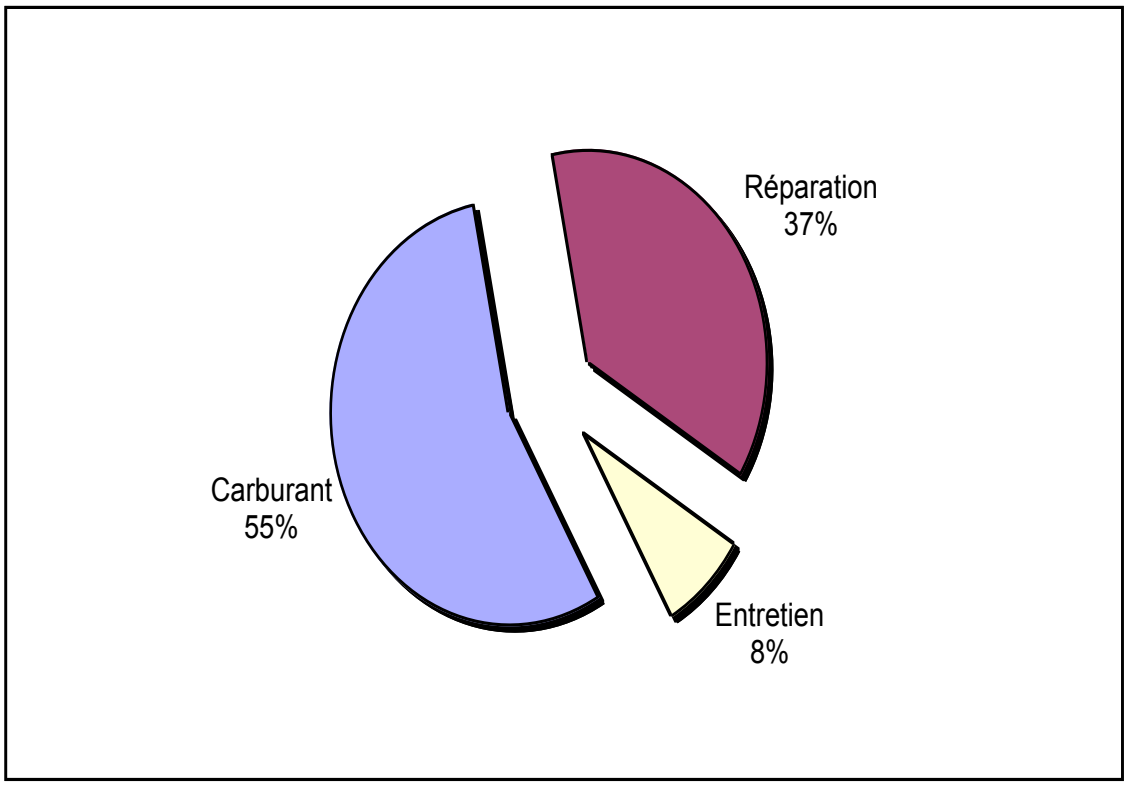
Contrairement aux coûts fixes annuels totaux, le graphique ci-dessus nous montre bien la différence entre le système de traction mécanique et animale en termes de coûts variable horaire. Alors que les coûts fixes annuels étaient les plus élevés chez le cheval, on remarque une tendance inverse avec des coûts variables horaires les plus bas pour la traction animale. Le tracteur 65 CV présente les coûts variables les plus haut. La chenillette porte-outils présente des valeurs intermédiaires assez proches du tracteur, montrant ainsi une similitude entre les systèmes de traction mécanique. Tandis que le système traction animale se situe en bas de l'échelle, avec un coût d'utilisation qui s'élève à deux fr.-/heure effective.



76. Graphique : Répartition des coûts variables horaires d'un cheval de trait léger, pour les essais « vignes en coteaux et plantes aromatiques ».



77. Graphique : Répartition des coûts variables horaires d'une chenillette porte outils 20 CV, pour l'essai « vignes en coteaux ».

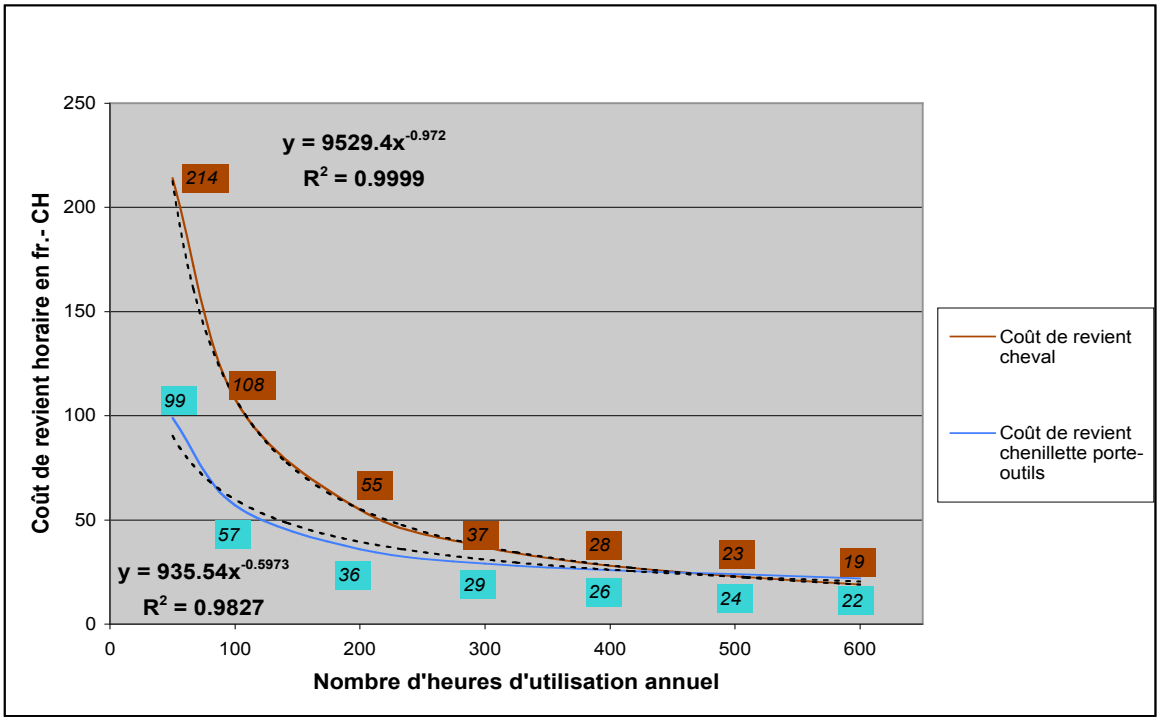


78. Graphique : Répartition des coûts variables horaire d'un tracteur 65 CV pour l'essai « plantes aromatiques et médicinales ».

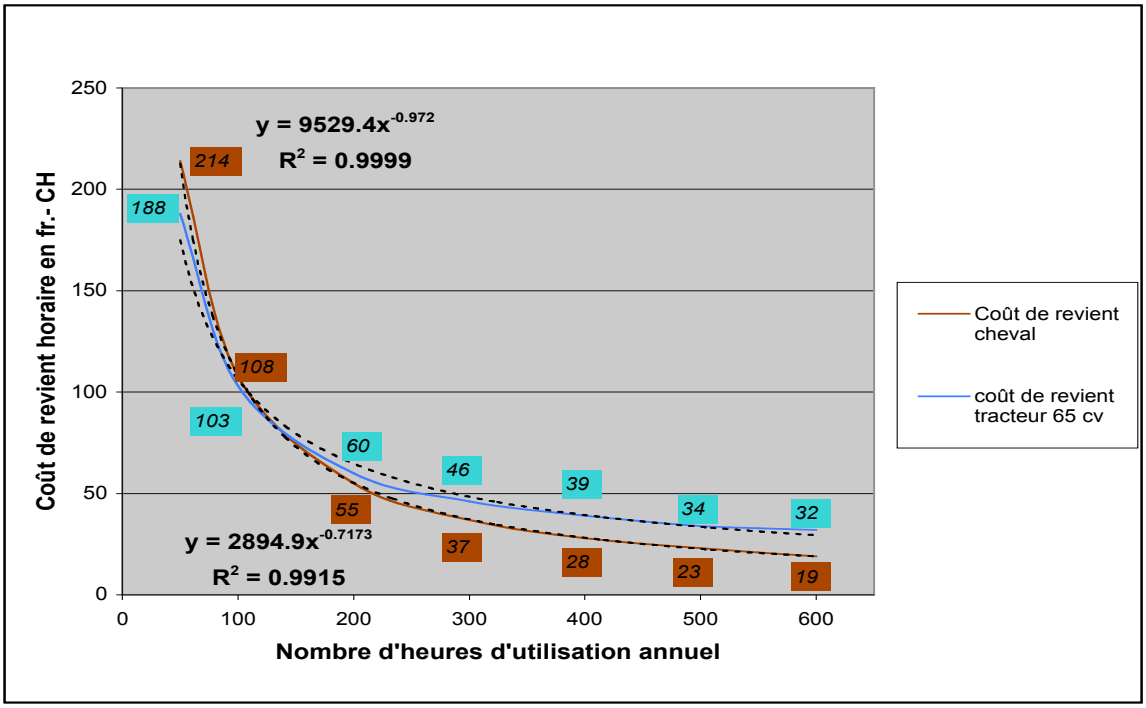
À la vue des trois graphiques précédents, on peut relever plusieurs constatations :

- La dépendance du système de traction animale, en rémunération du temps de travail qui représente les deux tiers des coût variables (72%). L'affouragement directement lié à l'utilisation du cheval, se monte à un peu moins du tiers restant. l'affouragement supplémentaire correspond au coût de la ration de travail moins le coût moyen de la ration d'entretien. La rémunération du temps de travail supplémentaire correspond au temps de pansage avant et après travail ainsi que le temps nécessaire au harnachement et au déharnachement de l'animal. Ces temps spécifiques à l'emploi de l'animal ont été mesurés durant les essais.
- La part majoritaire du carburant (55%) suivie des coûts de réparation (37%) qui représentent à eux deux plus du 90% des coûts variables, pour le système de traction mécanique. On retrouve ces mêmes répartitions pour le tracteur et la chenillette.

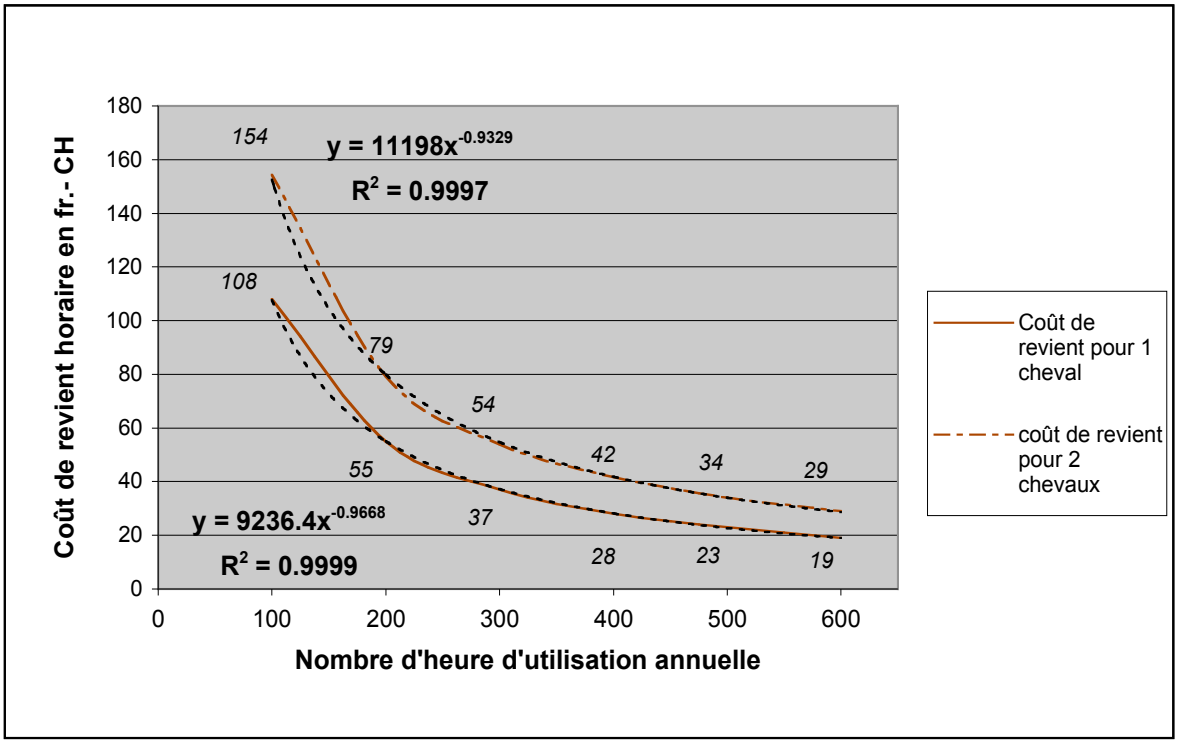
6.4 Coût de revient horaire en fonction du nombre d'heures d'utilisation annuelle



79. Graphique : Coût de revient horaire pour cheval de trait léger de 450 kg et une chenillette porte-outils de 20 CV, en fonction du nombre d'heures d'utilisation annuelle pour l'essai « vignes en coteaux ».



80. Graphique : Coût de revient horaire pour cheval de trait léger de 450 kg et un tracteur de 65 CV, en fonction du nombre d'heures d'utilisation, annuelle pour l'essai « plantes aromatiques ».



81. Graphique : Coûts de revient horaire pour l'achat d'un ou de deux chevaux de trait léger de 450 kg, en fonction du nombre d'heures d'utilisation annuelle.

Pour résumer les tendances des trois graphiques ci-dessus, on constate, avec une certaine logique, que c'est le nombre d'heures d'utilisation annuels qui est déterminant dans le coût de revient avec une très bonne corrélation négative (R^2 de 0.99) entre les heures d'utilisation et le coût de revient horaire. Cette relation semble d'autant plus marquée que les frais fixes annuels sont élevés par rapport l'investissement initial.

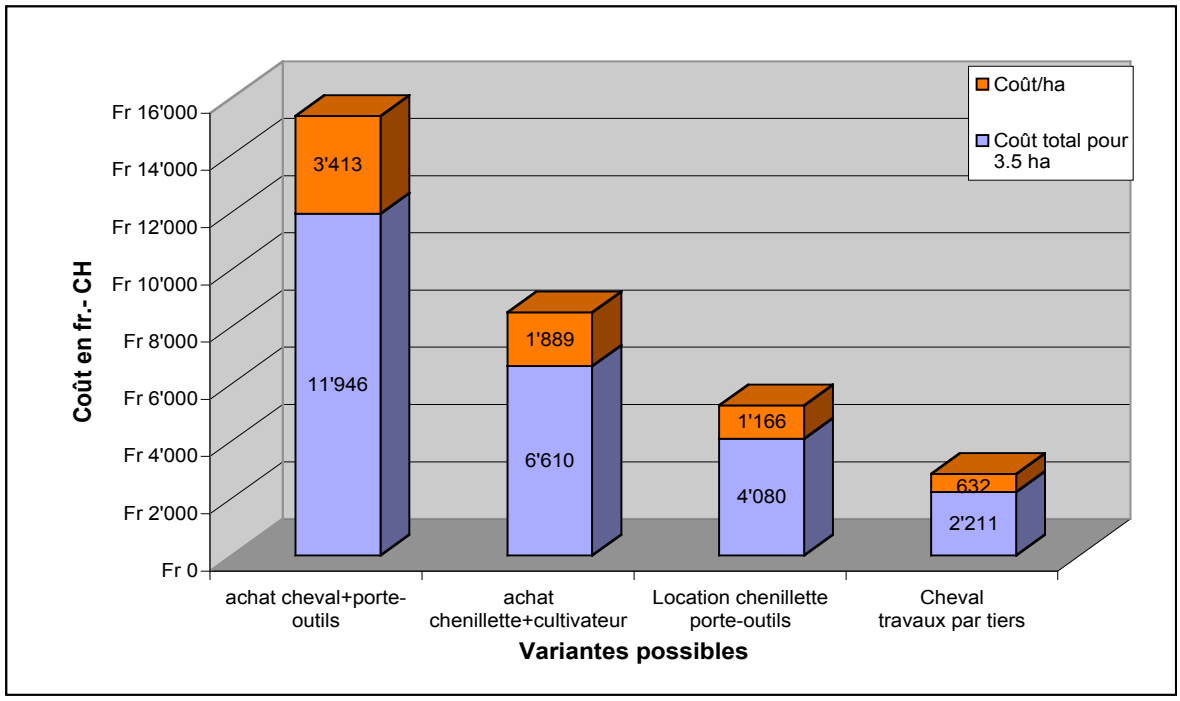
En effet, les différences, entre les coefficients de relations, vont, par ordre décroissant : le cheval (R^2=0.999)> le tracteur (R^2=0.991)> la chenillette porte outils (R^2=0.982). Ce schéma correspond également à l'ordre décroissant des coûts fixes annuels en fonction du type de traction. Il est important de noter que ces différences de coefficient de relation sont très faibles mais nous montre malgré tout une tendance générale.

Pour l'essai « vigne en coteaux », la chenillette porte-outils possède un coût de revient horaire moins élevé jusqu'à 500 heures d'utilisation annuelle. Dès 600 heures annuelles, le système traction animale coûte 19 fr.- par heure effective, contre 22 fr.- pour la chenillette porte-outils. Tandis que pour l'essai « plantes aromatiques et médicinales », le tracteur présente un coût horaire plus élevé dès 200 heures d'utilisation annuelle. Ce qui correspond à une utilisation mensuelle de 17 heures effectives ou à un mois et demi de travail annuel en comptant sept heures effectives de travail journalier, à raison cinq jours par semaine.

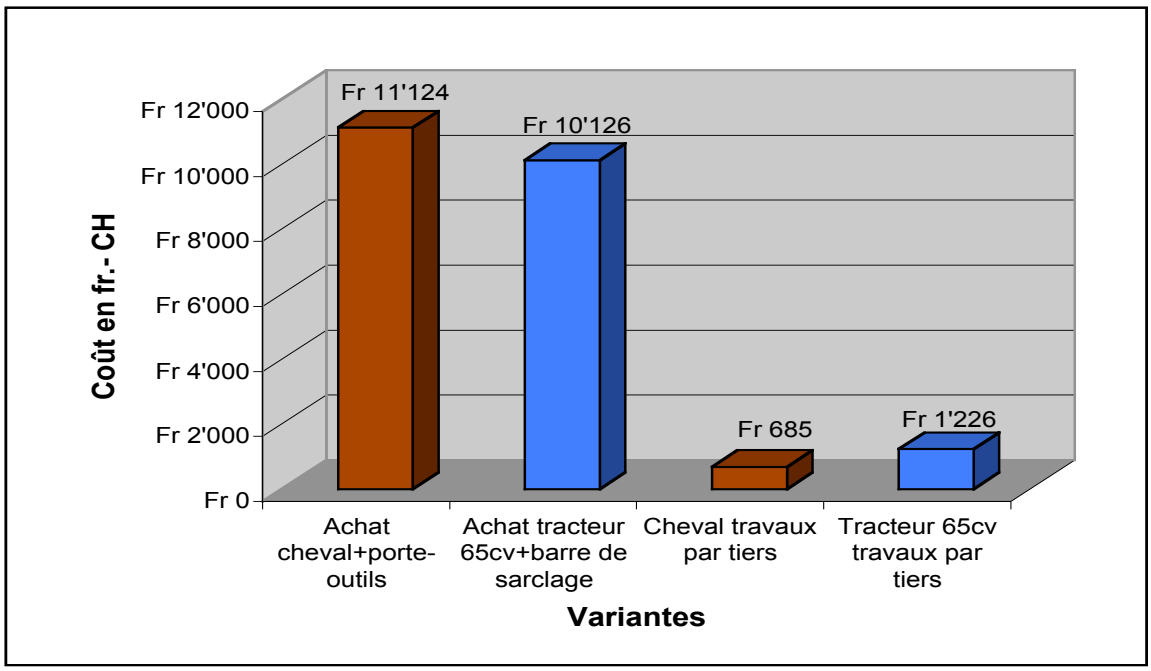
Concernant le graphique 43, on peut remarquer qu'à partir d'une utilisation annuelle de 300 heures par cheval, soit 600 heures par an pour les deux équidés, on obtient une différence de dix franc par heures d'utilisation effectives.

Ces 600 heures annuelles correspondent environ à une utilisation mensuelle de 50 heures effectives ou à quatre mois et une semaine de travail annuel en comptant sept heures effectives de travail journalier, à raison de cinq jours par semaine.

6.5 Coût annuel de traction entre les différentes variantes, pour les essais « vigne en coteaux et plantes aromatiques»



82. Graphique : Coûts annuels de traction, à, surface égale, pour six griffages par saison, un interligne sur deux, pour l'essai " vigne en coteaux".



83. Graphique : Coûts annuels de traction pour le sarclage d'un ha de plantes aromatiques pour l'essai « plantes aromatiques et médicinales ».

Avant d'analyser les deux graphiques ci-dessus, il nous est peut-être utile de rappeler les conditions de travail pour les trois essais

Concernant l'essai, « vigne en coteaux », il s'agissait de griffer le gazon sur une dizaine de cm de profondeur, un interligne sur deux, afin de diminuer l'impact du stress hydro-azoté exercé par l'enherbement total de la vigne. Ce travail du sol précède également l'application de la préparation biodynamique « 500 p ». Après discussion avec le chef d'exploitation, le nombre de passage était fixés à six griffages annuels sur tout le domaine.

Pour les essais « plantes aromatiques et médicinales » l'objectif du travail était de déterminer la rentabilité économique de la traction animale et mécanique pour le sarclage des cultures biologiques de plantes aromatiques et médicinales.

Tous les coûts présentés sur les graphiques sont issus de calcul du coût de revient ou de donnés de l'entreprise pour la variante location chenillette porte-outils. Seules les heures d'utilisations étaient modifiées selon les variantes étudiées. Le coût de la main d'œuvre et le coût de revient des outils (porte-outils, barre sarcleuses ou cultivateur) sont compris dans le coût total. Les mesures de temps de travail par hectare prises pour les résultats ci-dessus étaient les résultats de productivité pour un hectare de 50 mètres de long.

Au niveau des résultats des coûts de traction de l'essai « vigne en coteaux », la variante la plus élevée, pour le domaine en question, est l'achat du cheval et du porte-outil pour une utilisation de 70 heures par an. Ce qui représente un coût de 3'408 fr.-. par hectare. Les variantes intermédiaires sont, par ordre décroissant : l'achat de la chenillette > la location de la chenillette. Respectivement : 1920 fr.- > 1166 fr.- fr.- par hectare. L'alternative la moins élevée étant le travail effectué en traction animale par tiers.

En ce qui concerne les résultats des coûts de traction de l'essai « plantes aromatiques et médicinales », on retrouve les mêmes tendances comparativement au graphique 44. Pour six sarclages annuels d'une parcelle d'un hectare de 50 mètres de long, la variante la plus élevée est « l'achat cheval + porte-outils » avec 11'124 fr.-par ha, pour une utilisation annuelle de dix heures.

Vient ensuite l'option « achat du tracteur de 65 CV » (12.8 heures de traction)avec un coût annuel de 10'126 fr.- suivi de la variante « tracteur 65 CV travaux par tiers » (600 h annuel) pour un montant de 1226 fr.-par ha. La variante économique la moins élevée étant le sarclage effectué en traction animale par tiers (400 h d'utilisation annuelle du cheval)

Toutefois, il est important de noter qu'il s'agit d'une modélisation des mesures de productivités et que les résultats obtenus se basent sur une utilisation des systèmes de traction sur un hectare de plantes aromatiques et qu'ils ne tiennent pas compte des variations pédologiques et climatiques des sites. De plus, les frais de déplacement, la forme, la dimension et la répartition spatiale des parcelles, paramètres propres à chaque domaine ne sont également pas pris en compte. Il est bien clair que dans la réalité, le système de traction mécanique ou animale devrait être utilisé de façon beaucoup plus importante qu'une dizaine d'heures par année. Cependant, cette comparaison était effectuée ainsi, afin de comparer les deux systèmes de traction pour une utilisation annuelle égale.

7. Discussion

Arrivé au terme des résultats, voici quelques constatations en guise de comparaison technico-économique, entre la traction animale et la traction mécanique. Toutes les remarques du système de traction animale s'entendent pour une jument de trait léger, de race « Fjord », âgé de trois ans et demi lors des essais. Par souci de simplification des réflexions, ces conditions s'appliqueront à chaque fois que sera noté le mot « cheval ». Concernant les conditions des essais, voir le chapitre « objectifs et conditions de réalisation des essais ».

Résultats de productivité de l'essai « vigne en coteaux » :

La vitesse d'avancement du cheval augmente au fur et à mesure que la pente augmente, et ce jusqu'à des pentes de 25-30% environ. De 5 à 20 %de pente, aucune différence significative n'était observée, en termes de vitesse d'avancement. Passer le cap des 30 % de pente, on peut observer un décrochement significatif de la vitesse de travail.

Ce phénomène peut s'expliquer par le fait que, plus le cheval sent de la résistance dans le collier, plus il augmente sa vitesse de traction afin de profiter d'une inertie plus grande. Passer les 30% de pente, il semblerait que l'effort physique soit au-delà des capacités de l'animal pour continuer son accélération. Ce pourquoi, naturellement, il ralentit, de lui-même, son rythme de travail. Il est important de noter que l'effort physique pour le meneur est également important surtout dans les pente de 35% et plus.

Cette tendance semble se confirmer par un temps de récupération « cheval » maximal dans les pentes les plus raides de l'essai (>35%). Par contre, le temps nécessaire aux manœuvres en fin de ligne semble peu influencé par la pente.

Toutefois, sans pouvoir, d'un point de vue statistique, établir un lien de cause à effet entre la productivité du cheval et la pente des parcelles, la modélisation du temps de travail par hectare semble être une suite logique des résultats observés ci-dessus. Ainsi, le temps de travail par hectare, pour des lignes de 50 mètres de long, augmente de façon significative à partir de 25-30 et surtout> 35% de pente à cause de la vitesse d'avancement plus faible conjointement à un temps de récupération plus élevé.

En comptant, pour le cheval une journée de six heures effectives de travail, et sept heures effectives pour le chauffeur de la chenillette, il faut des pentes de >35% pour que les productivités théoriques maximales journalières soient équivalentes entre les deux systèmes de traction. En deçà, pour griffer un interligne sur deux d'une vigne enherbée, le cheval semblerait être plus rapide qu'une chenillette porte-outils qui effectuerait le même travail. Il faut toutefois prendre en considération que ces résultats sont le fruit d'une modélisation sur la base de mesure de productivité.

Résultats de productivité des essais « plantes aromatiques et médicinales » pour le désherbage des cultures, en mode de plantation double ligne et en planche :

Indépendamment des deux modes de plantation, la vitesse d'avancement du tracteur est significativement plus rapide (+18%) que le cheval. Le cheval montre une différence de vitesse entre les deux modes de plantation avec une vitesse supérieure d'environ 10% pour le mode plantation en planche. Toutefois, d'un point de vue agronomique, cette différence semble peu importante en considérant, comme tout système vivant, une variabilité de productivité du système de traction animale dans le temps. Productivité influencée par de nombreux paramètres quantifiables (affouragement, duré du travail…) ou non (sentiments, états d'humeur, dressage…).

Le temps nécessaire aux manœuvres en fin de ligne est significativement plus long avec le tracteur, qui prend en moyenne 65% de temps supplémentaire pour effectuer les retours de lignes. Le temps plus court pour le cheval en mode de plantation « planche » ne semble pas différent d'un point de vue agronomique.

En effet, pour des raisons propres aux statistiques, les manœuvres en fin de ligne pour l'essai « en double ligne » étaient effectuées une double ligne sur deux (deux doubles lignes = 1 bloc), tandis que pour l'essai « en planche » les deux planches de l'unité expérimentales étaient côte à côte.

La modélisation du temps de travail par hectare, pour des lignes de 50 mètres de long, sur base des résultats de productivité, nous montre un temps de travail par hectare supérieur pour le système de traction mécanique. Cette différence diminue fortement, voire s'annule, lorsque les lignes mesurent 100 mètres de long. Ce qui nous confirme, au passage, l'importance de la forme des parcelles sur la productivité des différents systèmes de traction (économie d'échelle par une fréquence plus faible des manœuvres en fin de ligne). On observe également un temps de travail par hectare plus court en mode de plantation « double ligne », pour les deux types de traction, à cause de la largeur de travail plus grande (1.6 m de large contre 1.5 m pour le mode de conduite en planche). Concernant le temps de travail par ha plus court pour le cheval, ces résultats sont à prendre avec précaution étant donné qu'il s'agit d'une modélisation de mesures de productivité.

La productivité maximale journalière, semble inférieure pour le mode de traction mécanique en planche avec 3.28 ha contre 4.15 ha pour le cheval. Attention toutefois à l'interprétation de ces résultats, qui représentent une surface journalière potentielle.

Au niveau de la qualité du désherbage, aucune différence significative n'a pu être observée entre les deux types de traction et ce dans les deux modes de plantation. Cependant, ce qu'il était observé, autant pour le tracteur que pour le cheval, c'est que la qualité du désherbage mécanique est avant tout influencée par les conditions météorologiques après sarclage, l'état d'humidité du sol lors du sarclage ainsi que par les stades des adventices présents lors du sarclage. Par ordre décroissant, on retrouvait principalement le mouron des oiseaux (*Stellaria media*)> pâturin annuel (*Poa annua*)> Véroniques (*Véronica persica et V. hederifolia*)> chénopode blanc (*Chenopodium album*) et capselles bourse-à-pasteur (*Capsella bursa-pastoris*). La majorité des adventices présentent lors des sarclages, étaient au stade cotylédon à quatre vrais feuilles.

Toutefois les mesures étaient faites en août et en septembre, c'est pourquoi d'autres essais en début de saisons devraient être effectués pour confirmer les résultats obtenus.

Résultats de l'analyse économique pour les essais « vigne en coteaux » et « plantes aromatiques et médicinales »

Pour les conditions des essais, le coût d'investissement initial d'un tracteur de 65 CV et d'une barre sarcleuse, pour le désherbage des plantes aromatiques, représente un coût supplémentaire de 73%, tandis que l'achat d'une chenillette porte-outil essence de 20 CV et d'un cultivateur, pour le griffage d'un interligne sur deux, représente un coût supplémentaire de 39%, comparativement à la traction animale « cheval, plus porte-outils ».

Cependant, au niveau de la répartition du coût d'investissement, le cheval est plus exigeant que la traction mécanique, en termes de structure et de matériel annexes (bâtiment, harnachement, brosses etc.). Les deux systèmes de traction mécanique présentent le même ordre de grandeur dans la répartition des coûts d'investissement initiaux. Ce qui montre une similitude sur le plan de la traction mécanique.

Les coûts fixes annuels les plus élevés correspondent au cheval, qui représente des coûts fixes annuels supplémentaires de 24% par rapport à un tracteur de 65 CV et 60%, comparativement à une chenillette porte-outils essence de 20 CV. Au niveau de la répartition des coûts fixes « traction animale », on retrouve principalement les frais d'entretien (fourrage, ferrage…) , la rémunération du temps de travail ainsi que le coût total du 2ème équidé de compagnie et ce, même lorsque le cheval n'est pas utilisé. De plus, au niveau de la loi sur la protection des animaux, il est interdit de garder un équidé seul, ce qui augmente également les frais fixes globaux en y ajoutant les frais d'entretien totaux d'un deuxième équidé (poney shetland dans notre cas de figure). Dans cette étude, ce deuxième équidé sert uniquement de compagnon au cheval de trait et n'est pas utilisé pour le travail. Tandis que pour le tracteur et la chenillette, c'est l'amortissement et les intérêts qui représentent le 80% des frais fixes annuels, dus essentiellement au coût d'investissement initial plus important.

Concernant les coûts variables par heure d'utilisation effective, le tracteur de 65 CV représente un coût supplémentaire de 88% et 87% pour la chenillette porte-outils essence de 20 CV, comparativement aux coûts variables horaire cheval. D'un point de vue répartition, on retrouve, pour le cheval, la dépendance importante (plus des deux tiers) en besoin de main-d'œuvre pour les soins, en termes de proportion de coûts variables. L'affouragement supplémentaire lié à l'utilisation du cheval ne représente que le tiers restant. Pour les deux systèmes de traction mécanique, la part majoritaire du carburant (55%) suivi des coûts de réparation (37%) représentent à eux deux plus du 90% des coûts variables. On retrouve ces mêmes répartitions pour le tracteur et la chenillette.

Pour le coût de revient des deux systèmes de traction, on remarque que c'est, logiquement, le nombre d'heures d'utilisation annuels qui est déterminant dans le coût de revient avec une très bonne corrélation négative (R^2 de 0.99) entre les heures d'utilisation et le coût de revient horaire. Cette relation semble d'autant plus marquée que les frais fixes annuels sont élevés par rapport à l'investissement initial.

Pour l'essai « vigne en coteaux », la chenillette porte-outils possède un coût de revient horaire moins élevé jusqu'à 500 heures d'utilisation annuelle. Dès 600 heures annuelles, le système traction animale coûte 19 fr.- par heure effective, contre 22 fr.- pour la chenillette porte-outils. Tandis que pour l'essai « plantes aromatiques et médicinales », le tracteur présente un coût horaire plus élevé dès 200 heures d'utilisation annuelle. Ce qui correspond à une utilisation mensuelle de 17 heures effectives ou à un mois et demi de travail annuel en comptant sept heures effectives de travail journalier, à raison de cinq jours par semaine.

Concernant le coût de revient pour l'achat de deux chevaux de trait, on peut remarquer qu'à partir d'une utilisation annuelle de 300 heures par cheval, soit 600 heures par an pour les deux équidés, on obtient une différence de dix franc par heures d'utilisation effective.

Ces 600 heures annuelles correspondent environ à une utilisation mensuelle de 50 heures effectives ou à quatre mois et une semaine de travail annuel en comptant sept heures effectives de travail journalier, à raison de cinq jours par semaine.

Le fait de posséder deux chevaux de traits exige un investissement financier et personnel supplémentaire avec comme avantages :

- de ménager les animaux, dans le cas ou le propriétaire travaillerait de nombreuses heures par an
- de posséder une réserve en force de travail lors de travaux plus de éprouvants physiquement, de maladie ou d'accident
- en cas de gestation et de mise bas, si le propriétaire possède des juments

Il est important de préciser qu'il s'agit de coûts de revient indicatifs déterminés selon des chiffres de base. Pour les deux systèmes de traction, il est tout à fait possible d'obtenir des résultats moins élevés dans le cas ou les structures et le travail sont plus simples et effectués par l'exploitant lui-même.

Enfin, concernant le coût annuel de traction « vigne », la variante la plus élevée, pour le domaine en question, est l'achat du cheval et du porte-outil pour une utilisation de 70 heures par an. Ce qui représente un coût de 3'408 fr.-. par hectare. Les variantes intermédiaires sont, par ordre décroissant : l'achat de la chenillette > la location de la chenillette. Respectivement : 1920 fr.- > 1166 fr.- par hectare. L'alternative la moins élevée étant le travail effectué en traction animale par tiers.

En ce qui concerne les résultats des coûts de traction de l'essai « plantes aromatiques et médicinales », on retrouve les mêmes tendances que pour l'essai « vigne en coteaux ». Pour six sarclages annuels d'une parcelle d'un hectare de 50 mètres de long, la variante la plus élevée est' l'achat cheval + porte-outils » avec 11'124 fr.-par ha, pour une utilisation annuelle de dix heures. Vient ensuite l'option « achat du tracteur de 65 CV » (12.8 heures de traction) avec un coût annuel de 10'126 fr.- suivit de la variante « tracteur 65 CV travaux par tiers » (600 h annuel) pour un montant de 1226 fr.-par ha. La variante économique la moins élevée étant le sarclage effectué en traction animale par tiers (400 h d'utilisation annuelle du cheval)

Toutefois, il est important de noter qu'il s'agit d'une modélisation des mesures de productivités et que les résultats obtenus, pour les variantes achats, se basent sur une utilisation des systèmes de traction sur un seul hectare de plantes aromatiques. Ils ne tiennent donc pas compte des variations pédologiques et climatiques des sites. De plus, les frais de déplacement, la forme, la dimension et la répartition spatiale des parcelles, paramètres propres à chaque domaine ne sont également pas pris en compte.

Il est bien clair que dans la réalité, le système de traction mécanique ou animale devrait être utilisé de façon beaucoup plus importante qu'une dizaine d'heure par année. Cependant, cette comparaison était effectuée ainsi, afin de mesurer les deux système de traction pour une utilisation annuelle égale.

Quelques remarques encore concernant la culture des plantes aromatiques et médicinales installé par semis. En plus de l'essai planté en double ligne, il était décidé initialement d'effectuer un second essai « semé planche », à raison de quatre ligne par planche. Après plusieurs pré-essais en septembre 2005 et au printemps 2006, l'essai « semé en planche » était abandonné pour l'essai « planté en planche » pour plusieurs raisons :

Le fait d'adapter une machine à un mode de plantation n'était pas concluant dans ce cas précis, car c'est logiquement le système de culture qui doit être adapté à la machine et non l'inverse

Le sarclage de quatre lignes simultanément est très délicat et exige beaucoup de précision pour des jeunes plantules semé en août 2005.

Le porte-outils kassine demandait deux à trois passages pour faire un travail suffisant. De plus le cheval devait être impérativement mené par une tierce personne afin que celui qui tenait la kassine puisse garder toute sa concentration au travail. Par conséquent, ce porte-outils ne semble pas adapté à ce mode de conduite pour les cultures semées.

De plus, les pré-essais étaient effectués en avril, lors du premier sarclage. Ces conditions compliquaient la réalisation du travail par la présence d'une croûte de battance et par des passages de roue très tassés.

Les passages de roue tassée par le tracteur étaient par ailleurs présents sur les deux autres essais. Pour l'essai « planté en planche », lors du sarclage, un passage préalable était nécessaire sur les passages de roues des unités expérimentales traction animale afin de décompacter la couche superficielle du sol. Cette opération était indispensable à la bonne réalisation du travail de sarclage).

84. Figure : Sarclage sur planche semé à quatre ligne, lors des pré essais au printemps 2006 (source personnelle).

D'après les essais effectués, il semblerait que c'est le mode de plantation en double ligne qui correspond le mieux au mode de traction animale. Toutefois, si les cultures sont sarclées uniquement avec ce mode de traction, les interlignes peuvent être facilement diminués pour atteindre 50 cm dans l'interligne le plus faible et 60 cm pour l'interligne de passage contre 70 et 90 cm pour le système de traction mécanique.

Sur le plan des réglages et après de multiples essais, deux roues sont nécessaires, pour la stabilité du porte-outils, ainsi que deux patins, disposé de par et d'autre de la barre porte outils, qui permettent de garder une profondeur et une qualité de travail constante, avec moins d'efforts.

D'autres essais agronomiques mériteraient d'être expérimentés, avec des cultures semées sur butte par exemple, qui semblent être intéressantes pour le sarclage précis des cultures semé. L'animal étant alors guidé par « la rigole » former par les buttes

En d'autre terme et pour résumer tous ces résultats, on peut constater que la rentabilité économique d'un système de traction dépend de nombreux facteurs interdépendants, tels que :

- le prix initial d'investissement
- le montant des coûts fixes annuels en relation directe avec le nombre d'heures d'utilisation
- le coût variable par heure d'utilisation
- la productivité du système, elle-même, influencée par la vitesse d'avancement, les temps de manœuvres en fin de lignes, la longueur des lignes et la largeur de travail (indirectement le mode de conduite)

D'autres facteurs externes indirects, propres à chaque domaine, viennent s'ajouter, comme le parc machine présent, l'état de la trésorerie, la forme des parcelles et leur répartition spatiale de cette dernière, ainsi que les conditions pédologiques/climatiques spécifiques à une région.

En guise de conclusion finale voici une réflexion tirée de la revue, Revue suisse d'agriculture de 1992, vol 24 (2) : p.107-111

« Le problème de la mécanisation n'est pas de revenir à des méthodes de travail moins mécanisées, mais de maîtriser l'investissement proportionnellement au potentiel de l'entreprise et de gérer leur utilisation de manière efficiente. Dans ces conditions la mécanisation ne sera plus une charge mais un facteur de productivité pour l'entreprise agricole » (ROUGE, 1992).

8. Conclusion

Arrivé au terme de cette étude, il est, me semble-il, important de rappeler que tous les résultats obtenus en termes de productivité et de rentabilité sont liés à des conditions expérimentales bien précises et qu'il serait dangereux de les transposer telles quelles pour une autre situation donnée.

En effet, ce qu'il se dégage de ces essais, c'est une plus grande variabilité de productivité du système de traction animale, productivité influencée par de nombreux facteurs interdépendants. Grâce à l'invention et au perfectionnement de la mécanisation, l'homme a réussi à s'affranchir de ces limites et c'est, maintenant, l'homme, lui-même, qui devient « facteur limitant » dans le système économique actuel……

En ce 21^{e} siècle, il reste encore beaucoup à faire en termes de recherches sur les nouvelles énergies potentiellement utilisables. Au vue des résultats obtenus, il paraît réaliste de penser que la force animale, avec des moyens techniques modernes, peut être économiquement rentable, en complément d'une mécanisation bien pensée pour une utilisation réfléchie des énergies fossiles.

Toutefois, avant de se prononcer sur la rentabilité économique de la traction animale comme force de travail sur une exploitation ; il est impératif d'analyser de façon complète, l'entreprise en question, dans son environnement. Si l'exploitation ne possède pas suffisamment de surface ou de travail pour utiliser la traction animale dans l'agriculture, il paraît indispensable d'utiliser la multifonctionnalité de ce type de traction à d'autres types d'activités plus polyvalentes et moins directement liées à l'agriculture comme le débardage, l'agrotourisme, et autres prestations sociales et culturelles.

Ces possibilités devraient êtres exploitées par ceux qui désirent utiliser la traction animale de façon rentable. Dans le cas échéant, il faudra accepter de payer plus cher ce choix qui peut être motivé par des raisons d'ordre philosophique. Dans le cas ou un exploitant ne possède pas les structures et le temps pour garder le cheval et qu'il désire tout de même effectuer certains travaux en traction animale, il pourrait toujours le faire par des tiers sur demande. Chaque situation devrait être analysé de façon individuelle.

Cependant, quoi qu'il en soit et au-delà de tous les paramètres d'ordre financier et technique, l'utilisation de la traction animale impose plusieurs conditions qui semblent être indispensable à la réussite de son intégration au sein d'une exploitation agricole.

En effet, étant donné que l'on travaille avec un être vivant, il faut tout d'abord apprécier le cheval, être motivé, posséder un certain « feeling » avec l'animal qui devient en quelque sorte « un collègue de boulot »

Autrement dit, tout le succès de la relation repose sur la collaboration de l'homme et de l'animal, le tout dans un respect réciproque.

85. Figure : autres valorisations et utilisations de la traction animale au travers des loisirs et des prestations de services dans le secteur de l'agrotourisme (source personnelle).

86. Figure : utilisation de la traction animale en forêt, spécialement dans les coupes d'éclaircies ou pour dés encrouer les arbres abattus mais coincés par le houppier, comme le montre les photos ci-dessus (source personnelle).

9. Références bibliographiques

1) ACTA, Mauvaises herbes des cultures, Paris Ed. Le Carrousel, 1997, 484 p.
2) AERNY J., MAIGRE D. et MURISIER F., Entretien des sols viticoles et qualité des vins de chasselas : influence de l'enherbement permanent et de la fumure azotée, Revue suisse vitic. arboric. hortic., 1995, vol 27 (4) : 237-251
3) AERNY J. et MAIGRE D., Essai d'enherbement et de fumure azotée sur Gamay dans le bassin lémanique : résultats agronomiques, Revue suisse vitic. arboric. hortic., 2000, vol 32 (3) : 145-151
4) AERNY J. et MAIGRE D., Essai d'enherbement et de fumure azotée sur Gamay dans le bassin lémanique : résultats analytiques et organoleptiques, Revue suisse vitic. arboric. hortic., 2000, vol 32 (3) : 279-285
5) AERNY J. et MAIGRE D., Enherbement et fumure azoté sur CV. Gamay dans le Valais central : résultats agronomiques, Revue suisse vitic. arboric. hortic., 2001, vol 33 (3) : 145-150
6) AERNY J. et MAIGRE D., Enherbement et fumure azoté sur CV. Gamay dans le Valais central : résultats analytiques et organoleptiques, Revue suisse vitic. arboric. hortic., 2001, vol 33 (4) : 199-204
7) AGRIDEA, Elevage et garde du cheval, classeur de fiches technique, Avril 2006,
8) BATAILLE LAETICIA, J'élève mes poneys, Marsat : Ed. Maloïne, 1994, 195 p., collection cheval pratique
9) BATAILLE LAETICIA, Le cheval, petit guide, Paris : Ed. Vichy, 2002, 8 p.
10) BEAUDOIN CATHERINE et BOURGOIN REMI, Etude de productivité : utilisation de la traction animale des chevaux en complément de la force mécanique, Qébec Est : Centre d'exploitation, multi ressource (CEMUR), 1996, 38 p. projet n°1121
11) BEURET E. et MURISIER F., L'enherbement des sols viticoles, Revue suisse vitic. arboric. hortic.,, 1986, vol 18 (5) : 291-294
12) BEURET E. et NEURY G. L'entretien du sol en viticulture, Revue suisse vitic. arboric. hortic., 1990, vol 22 (1) : 63-68
13) BLOT GERARD, La traction animale, la traction mécanique en Beauce, 1951, 60 p. Thèse pour le doctorat vétérinaire, Ecole nationale vétérinaire d'Alfort, Paris, 1951. N°16
14) CALAME F., Techniques culturales et microclimat de la vigne, Revue suisse vitic. arboric. hortic., 1993, vol 25 (5) :281-287
15) CARLEN Ch., Symbiose entre tradition et progrès : la clé du succès des plantes aromatiques et médicinales, Revue suisse vitic. arboric. hortic., 2004, vol 36 (2) :69
16) CHARLET P., la traction animal dans les fermes de grande culture en Vexin, instituts national agronomique Paris-Grignon, In :SOCIETE D'ETHNOZOOTECHNIE, Le cheval dans l'agriculture, 1982, 99p.
17) CHARVIN CLAUDE, Le cheval de bât, Paris : Ed. Crépin-Leblond et Cie, 1981, 126 p.
18) CLUTTON-BROCK JULIET, Horse Power: A history of the horse and the donkey in human societies, Londre: Natural History Museum Publications, 1992, 189 p.
19) CHRISTINET G. et NEYROUD J.A., Risque de tassement dans les sols viticoles en relation avec l'application de diverses techniques culturales, Revue suisse vitic. arboric. hortic., 1983, vol. 15 (2) : 113-117

20) DARBELLAY CHARLY, La montagne, une et diverse, In : Agriculture de montagne, agriculture à part, Revue suisse d'agriculture, 1986, vol 18 (3) : 139-143

21) DARBELLAY CHARLY, Les plantes médicinales et aromatiques au banc d'essai, Revue suisse vitic. arboric. hortic., 1999, vol 31 (6) :285

22) DARBELLAY CHARLY, Le développement de la recherche sur les plantes médicinales et aromatiques en Suisse, In :Plantes aromatiques et médicinales : de la production au produit finis, Actes du 4e colloque Médiplant du 23 au 25 septembre 1999, Conthey, 120p.

23) DELABAYS NICOLAS et al, La flore des vignes : entre richesse botanique et mauvaises herbes, Le guide viti d'agroscope changins-Wädenswil, Revue suisse vitic. arboric. hortic., 2005. vol 37 (1) : p.49-51

24) DELABAYS NICOLAS et SPRING JEAN.-LAURENT., Le trèfle souterrain : potentialités et limites pour l'enherbement des vignobles, Le guide viti d'agroscope changins-Wädenswil, Revue suisse vitic. arboric. Hortic., 2002. vol 34 (1) : p.33-34

25) DESVAUX ROBERT, Les nouvelles possibilités de lutte contre les adventices, In : les plantes de l'arc alpin : ressources pour le développement régional, Actes du 5e colloque Médiplant du 25 au 27 septembre 2003, Evolène, 115p.

26) FAYOLLE LOUIS, Le cheval Ardennais face à l'économie moderne, 1955, 45 p. Thèse pour le doctorat vétérinaire, Ecole nationale vétérinaire d'Alfort, Paris, 1955, N°56

27) GAILLAR R. et al, Analyse économique de la production intégrée en viticulture sur la base de l'expérience valaisanne, Revue suisse vitic. arboric. hortic., 1992, vol 24 (4) : 207-211

28) GIRAULT MARCEL, Attelages et charrois au Moyen-Âge, Nîmes : Ed. Christian Lacour, 1992, 203 p. (collection colporteur)

29) GRUBER REGINE, Pferde in weidealtung, Sttuttgart : Ed. Eugen Ulmer GmbH & Co, 2002, 140 p.

30) JANS JANÉN ET RYDBERG TORBJÖ, Comparison of horse and tractor traction using energy analysis Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Ecology and Crop Production Science, 2001, 16 p. In: Ecological Engineering, 2002, vol 19 , p. 13–28

31) KEILLING JEAN, L'agriculture biologique : objectifs, techniques et résultats Paris : Edité par l'Agence du Développement Durable Appliqué (ADDA), 1997, 21 p.

32) LECOINTE BERNARD, Atteler chez soi, Paris : Ed. Vigot, 2002, 95 p. (collection cheval pratique)

33) LIZET BERNADETTE, Le cheval dans la vie quotidienne : techniques et représentations du cheval dans l'Europe industrielle, Paris : Ed.Jean-Michel Place, 1996, 218 p.

34) MAIGRE D. et MURISIER F., Comparaison techniques d'entretien des sols viticoles dans trois sites pédoclimatiques différents de Suisse romande, Revue suisse vitic. arboric. hortic., 1992, vol 24 (6) : 173-177

35) MASSEREY M. et M.C,, l'organisation de la coopérative valaisanne Valplante, In :Plante aromatiques et médicinales : de la production aux produits finis, Actes du 4e colloque Médiplant du 23 au 25 septembre 1999, Conthey, 120p.

36) MAYOR J.PH. et MERMILLOD G., L'entretien du sol en viticulture. Revue suisse vitic. arboric. hortic., 1992, vol 25 (1) : 69-75

37) NOLLE JEAN, Machines modernes à traction animale, Paris Ed : L'Harmattan, 1978, 478 p

38) PIACENTINO JEAN, Bien connaître les chevaux de trait, Paris : Ed. De Vecchi, 1999, 147 p.

39) POUSSET JOSEPH, Le cheval énergie douce pour l'agriculture, Bats : Ed. Utovie, 1994, 186 p.

40) PROMETERRE. Etude des terroirs viticoles vaudois, Cartes climatiques du vignoble Vaudois : appellation Bex et Ollon, 2004, 23p.

41) RAPPORT FAT N°643/2005, Coûts-machines 2006, Agroscope FAT Tätikon, station fédérale de recherche en économie et technologie agricole, 2006, 44 p.

42) REY CHARLY, Plantes médicinales et aromatiques, In : Agriculture de montagne, agriculture à part, Revue suisse Agric, 1986, vol 18 (3) : 139-143

43) REY CHARLY, Premiers résultats d'essais variétaux et culturaux de plantes médicinales et aromatiques, Revue suisse vitic. arboric. hortic., 1986, vol 17 (3) : 195-200

44) REY CHARLY, Semis direct aux champs du thym, Revue suisse vitic. arboric. hortic., 1993, vol 25 (6) : 401-403

45) REY CHARLY, Comparaison du semis direct et du plant motté pour la mise en place de la sauge officinale (Salvia officinalis L.), Revue suisse vitic. arboric. hortic., 1995, vol 27 (6) : 375-378

46) REY CHARLY, Comparaison entre le semis et la plantation de la mélisse (Melissa officinalis L.) en montagne, Revue suisse vitic. arboric. hortic., 1996, vol 28 (6) : 361-366

47) REY CHARLY, Le choix du site cultural en zone de montagne basé sur des données scientifiques et sur l'expérience, In : les plantes de l'arc alpin : ressources pour le développement régional, Actes du 5^{e} colloque Médiplant du 25 au 27 septembre 2003, Evolène, 115p.

48) ROCCIER E., Panorama des utilisations du cheval et avenir, Centre d'étude et de recherche sur l'économie et l'organisation des productions animales. In :SOCIETE D'ETHNOZOOTECHNIE, Le cheval dans l'agriculture, 1982, 99p

49) ROUGE H., Les coûts de la mécanisation, Revue suisse d'agriculture, 1992, vol 24 (2) : 107-111

50) SIGAUT F., Les débuts du cheval de labour en Europe, école des hautes études en sciences sociales. In :SOCIETE D'ETHNOZOOTECHNIE, Le cheval dans l'agriculture, 1982, 99p

51) SPRING J.-L., Entretien du sol dans l'interligne, Le guide viti d'agroscope changins-Wädenswil, Revue suisse vitic. arboric. Hortic., 2005. vol 37 (1) : p.12-13

52) SPRING J.-L., Influence du type d'enherbement sur le comportement de la vigne et la qualité des vins. Résultats d'un essai sur chasselas dans le bassin lémanique, Revue suisse vitic. arboric. hortic., 2002, vol 34 (2) :111-116

53) SPRING J.-L., Gestion de l'enherbement des vignes, Le guide viti d'agroscope changins-Wädenswil, Revue suisse vitic. arboric. hortic., 1999, vol 31 (1) :18-19

54) SOLTNER DOMINIQUE, Guide d'agriculture intégré : Les techniques culturales simplifié, Sainte-Gemmes-sur-Loire, 2002, 25 p. (collection science et techniques agricoles).

55) THIRY ANNE, Le débardage à cheval, institut du cheval, 1994, 137 p.

56) VEZ A., Le progrès biologique et technique en agriculture biologique, Revue suisse Agric.., 1990, vol 22 (6) : 311-316

57) VEZ A., Enherbement des vignes : prudence dans les vignobles exposés à la sécheresse, Revue suisse vitic. arboric. hortic., 1992, vol 25 (5) : 259

58) VEZ A., Recherche agronomique et agriculture biologique, Revue suisse vitic. arboric. hortic., 1994, vol 26 (6) : 343

59) WERMEILLE VINCENT, Des chevaux et des hommes : l'élevage passionné du Franches-Montagnes, Saignellégier : Ed. le Franc-Montagnard SA, 1995, 181p.

60) WOLTER ROGER, Alimentation du cheval, Paris : Ed.France agricole, 1999, 478p.

10. Table des matières

1. Introduction 3

2. Étude bibliographique 4

2.1 Historique de la traction animale : de la domestication du cheval à nos jours 4

2.1.1 Origine et évolution de l'espèce 4
2.1.2 De la domestication à l'Antiquité 6
2.1.3 Du Moyen-Âge au XIX^e siècle, vers l'apogée du cheval de trait 7
2.1.4 Le XX^e siècle ou la fin du cheval de trait 17
2.1.5 Le retour du cheval de trait au XXIe siècle, possibilités de revalorisation 21
2.1.6 L'utilisation du cheval en forêt : utopie ou réalité économique ? 22
2.1.7 Les chevaux dans les agglomérations, au service de l'entretien et de la propreté. 24
2.1.8 Le cheval de trait, entre loisir et passion, un potentiel à exploiter 24

2.2 L'enherbement des vignes en production biologique et gestion du stress hydro-azoté 25

2.3 La culture des plantes aromatiques et médicinales en zone de montagne 29

3. Objectifs et conditions de réalisation des essais 35

4. Matériels et méthodes 40

4.1 Définitions des différentes modalités et traitements 40

4.2 Détermination des variables explicatives et des variables réponses 41

4.3 Dispositif expérimental 47

4.4 Déroulement de l'essai 50

4.5 Analyse statistiques des résultats 51

4.6 Calcul des résultats de productivité, pour les essais « vigne en coteaux » et « plantes aromatiques et médicinales » 51

4.6.1 Modélisation du temps de travail par hectare 51
4.6.2 Modélisation de la productivité maximale journalière 52

4.7 Résultats de l'analyse économique 52

4.7.1 Coût d'investissement initial 52
4.7.2 Coût de revient horaire 53
4.7.3 Coût annuel de traction pour les essais « vignes en coteaux » et « plantes aromatiques et médicinales » 53

5. Résultats 57

5.1 Résultats de productivité pour l'essai « vigne en coteaux» 57

5.1.1 Vitesse d'avancement du cheval 57
5.1.2 Temps nécessaire pour les manœuvres en fin de ligne 59
5.1.3 Temps de récupération en fin de ligne pour le cheval 61
5.1.4 Modélisation du temps de travail par ha pour le cheval et la chenillette porte-outils 63
5.1.5 Modélisation de la productivité maximale journalière pour l'essai « vigne en coteaux » 64

5.2 Résultats de productivité pour l'essai « plantes aromatiques et médicinales» 65

5.2.1 Vitesse d'avancement cheval et tracteur 65

5.2.2 Temps nécessaire aux manœuvres en fin de ligne 67
5.2.3 Modélisation du temps de travail par ha pour le cheval et le tracteur 69
5.2.4 Modélisation de la productivité maximale journalière pour l'essai «plantes aromatiques et médicinales» 71
5.2.5 Qualité du désherbage en fonction du type de traction 72

6. Analyse économique.....75

6.1 Coût d'investissement initial et répartition selon le type de traction..... 75

6.2 Coûts fixes annuels et répartition selon le type de traction 78

6.3 Coûts variables horaires et répartition selon le type de traction..... 81

6.4 Coût de revient horaire en fonction du nombre d'heures d'utilisation annuelle..... 84

6.5 Coût annuel de traction entre les différentes variantes, pour les essais « vigne en coteaux et plantes aromatiques» 86

7. Discussion.....88

8. Conclusion 94

9. Références bibliographiques 97

10. Table des matières 101

11. Annexes 104

11. Annexes

1. Annexe : Schéma des dispositifs expérimentaux répartition aléatoire des traitements au sein des blocs
2. Annexe : Résultats de l'analyse statistiques avec intervalles de confiance
3. Annexe : Plan d'affouragement pour cheval de trait léger
4. Annexe : Coût de revient pour un cheval de trait léger
5. Annexe : Coût de revient pour un tracteur de 65 CV
6. Annexe: Coût de revient d'une barre porte-outils pour sarcler les plantes aromatiques et médicinales
7. Annexe : Coût de revient d'une chenillette porte outils essence 20 CV
8. Annexe : Coût de revient d'un cultivateur viticole