Enherbement du vignoble sous le rang en climat méditerranéen : caractérisation de la compétition pour l'eau et la lumière

Irène Dulac

▶ **To cite this version:**

Irène Dulac. Enherbement du vignoble sous le rang en climat méditerranéen : caractérisation de la compétition pour l'eau et la lumière. Sciences du Vivant [q-bio]. 2015. dumas-01274896

HAL Id: dumas-01274896

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01274896

Submitted on 16 Feb 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AGROCAMPUS OUEST

☐ **CFR Angers**

☑ **CFR Rennes**

Année universitaire : 2014 – 2015

Spécialité : Agronomie

Spécialisation / option :

Sciences des Productions Végétales /

Ingénierie des Agrosystèmes

Mémoire de Fin d'Études

☑ d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage

☐ de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage

☐ d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Enherbement du vignoble sous le rang en climat méditerranéen : caractérisation de la compétition pour l'eau et la lumière

Par : Irène DULAC

Soutenu à Rennes, le 14/09/2015

Devant le jury composé de :

Président : Safya Menasseri

Maître de stage : Xavier Delpuech

Enseignant référent : Christine Bissuel

Rapporteure : Anne Jaffrezic

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Remerciements

Je tiens tout particulièrement à remercier Xavier Delpuech, mon maître de stage. J'ai beaucoup appris de sa capacité d'analyse. J'admire son enthousiasme, sa patience et disponibilité durant mon stage, sa façon de gérer l'équipe dont j'ai eu la chance de faire partie.

Mes remerciements vont également à l'ensemble des membres du réseau « enherbement sous le rang » que j'ai pu rencontrer et qui m'ont aidée à aborder la problématique. En particulier, merci à Elise Bosse-Platières et Michel Pastouret, viticulteurs en Costières de Nîmes pour leur soutien dans le suivi des expérimentations.

Je remercie également les enseignants d'Agrocampus Ouest et en particulier Christine Bissuel, enseignante-tutrice. Merci à Hervé Nicolas pour ses explications sur le rayonnement solaire, à Julie Josse et François Husson pour leur aide dans le traitement statistique des données.

Je remercie également Safya Menasseri et Anne Jaffrezic, membres du jury pour leur lecture et remarques.

Enfin, merci à tous ceux qui ont permis que mon stage se déroule dans la bonne humeur : merci à l'ensemble de l'équipe IFV pour ces cafés, repas et pots partagés !

Gracias padres y familia por su amor! Gracias por haberme ayudado a llegar hasta aquí!

Merci mes amis, la Tribe pour tous ces bonheurs partagés et l'ouverture sur de nouvelles perpectives.

Amor Léa ! C'était si bien Nîmes avec toi, le pont du Gard, Saintes-Maries de la mer la nuit, les chèvres du rove et toute cette joie !

Sommaire

Remerciements
Table des matières
Liste des abréviations
Liste des figures
Liste des tableaux

Introduction 1

CHAPITRE I – Enherbement sous le rang : une technique innovante d'enherbement du vignoble 3

1. L'enherbement du vignoble, une pratique longtemps délaissée qui connait un nouvel essor 3
   1.1. Histoire de la gestion de l'enherbement en vigne 3
   1.2. L'enherbement, une alternative aux herbicides et au travail du sol 3
2. L'enherbement sous le rang, une technique innovante de gestion du sol 3
   2.1. L'enherbement sous le rang, qu'est-ce que c'est ? 3
   2.2. Aspects techniques de l'enherbement sous le rang 4
3. Présentation du réseau d'essai 4
   3.1. Les parcelles expérimentales 4
   3.2. Description du dispositif expérimental 5

CHAPITRE II – Enherbement sous le rang : caractériser l'impact sur la vigueur et la production de la vigne 7

1. Introduction 7
2. Matériel et Méthodes 7
   2.1. Taux de couverture de l'enherbement 7
   2.2. Impact sur l'expression végétative de la vigne 7
   2.3. Impact sur la production de la vigne 8
3. Résultats 9
   3.1. Dynamique de recouvrement de l'enherbement 9
   3.2. Impact sur l'expression végétative de la vigne 9
   3.3. Le N-Tester, un indicateur du statut azoté de la vigne 10
   3.4. Impact sur la production de la vigne 10
4. Discussion – Conclusion 11

CHAPITRE III – Compétition pour l'eau : modéliser la dynamique de l'eau dans l'association vigne-enherbement sous le rang en région méditerranéenne 12
1. Introduction 12
2. Matériel et Méthodes 12
2.1. Conditions expérimentales 12
2.2. Indicateurs de disponibilité en eau et de stress hydrique 13
2.3. Le modèle du bilan hydrique adapté à la vigne enherbée 13
3. Résultats 15
3.1. Impact d'un enherbement localisé sous le rang sur la dynamique de l'eau dans le sol 15
3.2. Simulation de la FTSW par le modèle WaLIS 16
4. Discussion - Conclusion 16
CHAPITRE IV- Compétition pour la lumière : analyse du rayonnement reçu par un couvert enherbé selon sa position dans l'inter-rang 17
1. Introduction 17
2. Matériel et méthodes 17
2.1. Conditions expérimentales 17
2.2. Détermination du rayonnement reçu au sol 17
2.3. Estimation de la consommation en eau de l'enherbement en fonction de sa position dans l'inter-rang 19
3. Résultats 20
3.1. Analyse des rayonnements mesurés au sol 20
3.2. Simulation par le modèle de Pieri du rayonnement reçu par un point selon sa position dans l'inter-rang 21
3.3. Influence de la position de l'enherbement dans l'inter-rang sur sa consommation en eau 21
4. Discussion - Conclusion 22
Conclusion 23
Bibliographie 24
Annexes 27

Abréviations

AOP	Appelation d' Origine Protégée
ASW	Available Soil Water
CN	Curve number
Couv	Proportion de sol enherbé (%)
D	Drainage
Es	Evaporation du sol nu
ETP	Evapotranspiration Potentielle
FR	Modalité enherbée (*Festuca rubra*), Pastouret
FR-TF	Modalité enherbée (*Festuca rubra* et *trifolium fragilerum*), Pastouret
FTSW	Fraction ofTranspirable of Soil Water
H	Humidité du sol
I	Irrigation
IFV	Institut Français de la Vigne et du Vin
kc	Coefficient cultural
kmax	Coefficient cultural maximal
P	Précipitations
PAR	Photosynthetic Active Radiation
PBT	Poids de bois de taille
R	Ruissellement de surface
R^2	Coefficient de détermination
R_{atm}	Rayonnement atmosphérique
R_{diffus}	Rayonnement diffus
R_{dir}	Rayonnement direct
R_G	Rayonnement global
R_{ns}	Rayonnement net arrivant au sol
RG	Modalité enherbée (*Festuca rubra*), Saint-Bénézet
RU	Réserve Utile (mm)
STB	Domaine de Saint-Bénézet
T	Transpiration
Tc	Taux de couverture
TEM	Modalité Témoin
T_s	Température du sol
TTSW	Total of Transpirable Soil Water
T_v	Température de la surface des feuilles de vigne
WaLIS	Water baLance for Intercropped Systems
α_s	Albédo du sol
α_v	Albédo de la vigne
ε_s	Emissivité du sol
ε_v	Emissivité de la surface des feuilles de vigne
σ	Constante de Stephan-Boltzmann
Ψ_b	Potentiel hydrique foliaire de base

Liste des figures

Figure 1.1 : Enherbement classique et enherbement sous le rang de vigne

Figure 1.2 : Enherbement sous le rang

Figure 1.3 : Localisation des deux parcelles suivies

Figure 1.4 : Dispositif expérimental au domaine de Saint-Bénézet

Figure 1.5 : Dispositif expérimental au domaine Pastouret

Figure 2.1 : Dynamique de recouvrement de l'enherbement

Figure 2.2 : Dynamique de croissance des apex

Figure 2.3 : Impact de l'enherbement sur la vigueur de la vigne

Figure 2.4 : Impact de l'enherbement sur le rendement de la vigne

Figure 3.1 : détermination de la TTSW et de l'ASW à partir des mesures d'humidité du sol

Figure 3.2 : Données météorologiques mensuelles du domaine de Saint-Bénézet

Figure 3.3. : Schéma conceptuel du modèle de bilan hydrique établi pour une vigne enherbée

Figure 3.4 : Compartimentation du sol adaptée à un enherbement sous le rang

Figure 3.5 : TTSW de chaque placette en fonction de l'âge de l'enherbement

Figure 3.6 : (a) Mesure de la FTSW au cours de la période 2011-2015
(b) Différentiel de disponibilité en eau entre les deux modalités

Figure 3.7 : FTSW simulées sur la période de 2011 à 2015

Figure 3.8 : Potentiels de base, mesurés en 2015

Figure 4.1 : Bilan radiatif au sol dans l'inter-rang, d'après Pieri (2010)

Figure 4.2 : Réponse à l'eau de différentes espèces (d'après Marty et al., 1977)

Figure 4.3 : Caractère ombragé ou au soleil direct du capteur au sol

Figure 4.4 : Mesure du rayonnement global arrivant sur la vigne et du rayonnement net arrivant au sol sous le rang de vigne

Figure 4.5 : Simulations de la part du rayonnement global reçue au sol dans l'inter-rang, pour une orientation Nord Sud des rangs

Figure 4.6 : Simulations de la différence de R_{ns} reçu entre le milieu de l'inter-rang et la zone directement sous le rang de vigne selon l'orientation des rangs

Figure 4.7 : Simulations de la production de masse sèche par un enherbement de Fétuque rouge pour une vigne orientée Nord-Sud

Liste des Tables

Tableau 1.1 : Caractéristiques des parcelles étudiées

Tableau 1.2 : Modalités mises en place sur les parcelles suivies

Tableau 1.3 : Variables suivies

Tableau 2.1 : Classification des apex (d'après Rodriguez Lovelle et al., 2009)

Tableau 3.1 : Données météorologiques annuelles du domaine de Saint-Bénézet

Tableau 4.1 : Paramètres utilisés pour les simulations de bilan radiatif par le modèle de Pieri

Tableau 4.2 : Valeurs utilisées des paramètres du modèle de Monteith

Tableau 4.3 : Rayonnements mesurés au sol selon la distance au rang de vigne

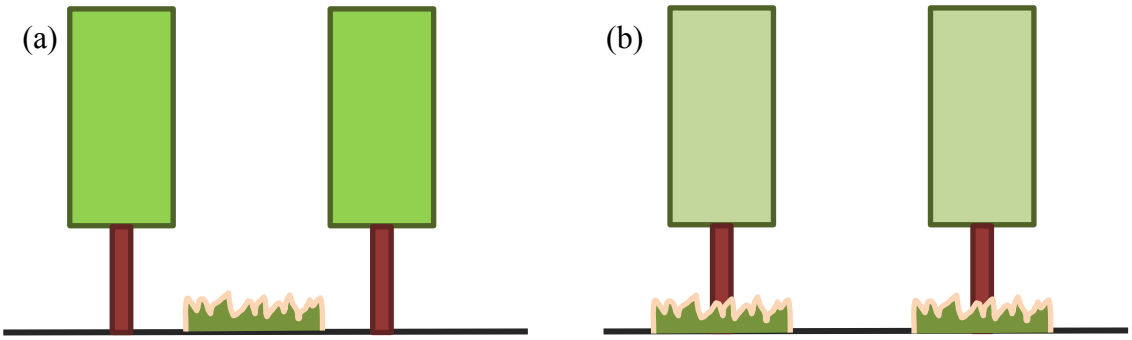


Figure 1.1 : Enherbement classique et enherbement sous le rang de vigne
(a) Enherbement classique : le couvert est planté dans l'inter-rang et la zone sous le rang est désherbée chimiquement
(b) Enherbement sous le rang : le couvert est planté sous le rang de vigne, le reste de l'inter-rang est désherbé mécaniquement

Introduction

Le pourtour méditerranéen français a une longue tradition viticole : la culture de la vigne y a été introduite par les Grecs cinq siècles avant J.C. et s'est rapidement étendue à toute la région languedocienne. Aujourd'hui ce sont plus de 236 000 ha de vigne recensés en Languedoc-Roussillon, ce qui en fait la première région viticole de France avec 30% de la surface viticole du pays. L'importance de cette culture s'est accompagnée d'une intensification des pratiques agricoles dès le XIX^{e} siècle, et d'une utilisation accrue des produits phytosanitaires à partir de la deuxième moitié du XX^{e} siècle. En effet, le développement de la chimie agricole a systématisé le recours aux fongicides et aux herbicides. Le paysage viticole a été profondément modifié, en particulier par l'usage de désherbants entre les rangs de vigne, plaçant le modèle d'une vigne totalement désherbée comme idéal de vigne productive. Aujourd'hui ce mode de conduite est remis en question : la pollution des eaux de surface et des nappes phréatiques par les herbicides ouvre les yeux à l'ensemble de la société, et en particulier aux consommateurs qui tendent à rejeter l'agriculture intensive. La viticulture est pointée du doigt, elle cherche donc des pratiques alternatives, limitant l'utilisation des produits polluants.

L'enherbement des vignes est une alternative au désherbage chimique. Cette technique de gestion de l'inter-rang est bénéfique en termes de qualité des sols : elle limite l'érosion des sols, en améliore la portance, permet une meilleure infiltration des pluies, augmente le taux de matière organique, et en général favorise la biodiversité des sols. La pratique de l'enherbement, en régression au XX^{e} siècle est de nouveau utilisée dans les régions viticoles françaises disposant d'une forte pluviométrie : c'est le cas de l'Alsace qui présente aujourd'hui 93% de vignobles en enherbement permanent (d'après l'Agreste - Enquête sur les pratiques culturales des viticulteurs 2010). En effet la concurrence exercée par le couvert permet de limiter la vigueur excessive de la vigne (Morlat et al., 1993). En région méditerranéenne, la problématique est autre : l'eau est un facteur limitant pour la production, la vigueur est rarement excessive ; l'implantation d'un couvert fait donc craindre une compétition pour l'eau et à termes des pertes de rendement (Gaudel, 2002) (seuls 15% de la surface des vignobles du Languedoc-Roussillon sont enherbés de façon permanente, Agreste, 2010). De plus, le contexte de réchauffement climatique actuel laisse présager des étés de plus en plus arides, qui rendront la production de vin de qualité plus difficile (Qadir et al. 2003)

Pour limiter la consommation en eau par le couvert, on tend à réduire la largeur d'enherbement. La zone dite « sous le rang », c'est-à-dire directement au pied des vignes est une zone difficile d'accès pour les machines agricoles, ainsi c'est une zone qui est souvent désherbée chimiquement alors que le reste de l'inter-rang est désherbé mécaniquement. Les organismes de recherche viticole expérimentent un nouveau type d'enherbement : l'enherbement sous le rang, avec le reste de l'inter-rang désherbé mécaniquement (Figure 1.1). Cela permet de n'utiliser aucun herbicide sur la parcelle. Cependant la localisation de l'enherbement sous le rang dans la zone de développement majoritaire des racines de la vigne (Champagnol, 1984) laisse présager une compétition plus forte pour l'eau. Cette étude s'inscrit dans le programme ZéroHerbicide de l'IFV (Institut Français de la Vigne et du Vin) qui vise à trouver des alternatives au désherbage chimique en climat méditerranéen. Elle est organisée selon trois axes de recherche :

- **Etude de l'impact de l'implantation d'un enherbement sous le rang sur la vigueur et le niveau de production de la vigne**. En Languedoc-Roussillon, il n'y a pas de problème de vigueur excessive, mais les vignerons peinent souvent à atteindre le rendement limite maximum de 13 $hL.ha^{-1}$ de l'AOC Costières de Nîmes (décret 2013). Un enherbement placé sous le rang engendre-t-il des difficultés accrues à atteindre cet objectif ? Son implantation se traduit-elle par une modification de la qualité des baies ?

- **Analyse des déterminants de cette concurrence :**

(a) Caractérisation de la compétition pour l'eau dans le système vigne-enherbement-sol. Etude de l'influence d'un enherbement sous le rang sur la disponibilité de l'eau dans le sol. Validation d'un modèle de bilan hydrique adapté aux vignes enherbées en climat méditerranéen (modèle WaLIS, Celette 2010).

(b) Caractérisation de la compétition pour la lumière : étude de l'interception du rayonnement par la vigne, et du rayonnement arrivant au sol et donc disponible à l'enherbement. Validation d'un modèle d'interception du rayonnement par la vigne palissée (Pieri, 2010) et simulations pour déterminer dans quelle zone de l'inter-rang l'enherbement reçoit le plus d'énergie solaire pour *in fine* trouver la zone d'implantation où le couvert puise le moins d'eau.

Figure 1.2 : Enherbement sous le rang.
(a) Zone enherbée sous le rang, ici par de la Fétuque rouge
(b) Zone de l'inter-rang travaillée mécaniquement
Domaine Pastouret, Bellegarde, 22 avril 2015 (Crédit photographique : auteur)

CHAPITRE I – Enherbement sous le rang : une technique innovante d'enherbement du vignoble

1. L'enherbement du vignoble, une pratique longtemps délaissée qui connait un nouvel essor

L'enherbement du vignoble consiste à associer une culture herbacée à la vigne, ce couvert végétal pouvant être semé ou bien spontané (enherbement dit « naturel »). On distingue les enherbements temporaires qui sont détruits au cours de l'année, des enherbements permanents qui restent implantés toute l'année.

1.1.Histoire de la gestion de l'enherbement en vigne

L'enherbement en vigne est une pratique très ancienne : les romains l'utilisaient il y a plus de 2000 ans (Dion, 1993). Au XXème siècle, cette pratique tend à disparaitre : le travail mécanique du sol après la première guerre mondiale et le désherbage chimique à partir des années 1970 modifient le paysage viticole et instaurent la vigne totalement désherbée comme modèle de vigne productive. À partir de la seconde moitié du XXème siècle, des régions reviennent à un enherbement de la vigne. Dans les régions où l'excès d'eau pose problème à certaines époques de l'année en termes de portance et d'érosion du sol et de rendements excessifs, l'enherbement est facilement accepté par les viticulteurs. Il en va tout autrement pour les régions méditerranéennes où la crainte de la compétition pour l'eau est un frein majeur à l'acceptation de cette pratique.

1.2.L'enherbement, une alternative aux herbicides et au travail du sol

Aujourd'hui, l'enherbement en vigne connait un regain de popularité lié au contexte de diminution d'utilisation d'intrants herbicides. En effet, de nombreuses études sont financées par les instances publiques dans le cadre du plan Ecophyto 2018 qui vise à diminuer de moitié l'utilisation de produits phytosanitaires entre 2008 et 2018. La viticulture est particulièrement concernée par ces enjeux : bien que ne représentant que 3% de la SAU, la culture de la vigne consomme 20 % des produits phytosanitaires (80 % de fongicides, 20 % d'herbicides) (expertise phytosanitaire INRA-CEMAGREF). De plus, le nombre de molécules herbicides autorisées diminue chaque année (20 molécules autorisées en 2014 contre 29 en 2002), et le prix des herbicides devient rédhibitoire pour un grand nombre de viticulteurs. Les questions environnementales sont chaque jour plus au cœur des débats de notre société, qui voit d'un mauvais œil la pollution des cours d'eau et des réserves phréatiques. Cette conjoncture générale engage donc les viticulteurs à faire évoluer leurs pratiques agricoles et à se tourner vers des modes de production économes en intrants.

2. L'enherbement sous le rang, une technique innovante de gestion du sol

2.1.L'enherbement sous le rang, qu'est-ce que c'est ?

Deux zones sont à distinguer entre les rangs de vigne en matière de gestion des adventices: la zone directement sous le rang (d'une largeur d'environ 50 cm de part et d'autre des ceps) et la zone dite d'inter-rang (Figure 1.2). La première zone est caractérisée par un

Figure 1.3 : Localisation des deux parcelles suivies
(a) Domaine Pastouret, commune de Bellegarde
(b) Domaine de Saint-Bénézet, commune de Garons

Tableau 1.1 : Caractéristiques des parcelles étudiées

Domaine	Localisation	Cépage/porte-greffe	Densité (nb de pieds /ha)	Taille	Date de plantation
Saint-Bénézet	Garons (43°44'28''N 4°26'18'' E)	Syrah (clone877)/SO4	5000	Simple cordon de royat	Mars 2005
Pastouret	Bellegarde (43°46'11.5"N 4°30'54.4"E)	Clairette	3865	Double cordon de royat	Mars 2000

Tableau 1.2 : Modalités mises en place sur les parcelles suivies
Pour toutes les modalités, le reste de l'inter-rang est désherbé mécaniquement
Couv : proportion de sol enherbé

Domaine	Modalité	Sous le rang	Dose de semis	Couv	Répétitions
Saint-Bénézet	TEM	Désherbé chimiquement	0	0	3 x 18 ceps
	RG	Fétuque rouge	50 kg.ha^{-1}	20%	3 x 18 ceps
Pastouret	T	Désherbé mécaniquement	0	22%	8 x 10 ceps
	FR	Fétuque rouge	50 kg.ha^{-1}	22%	8 x 10 ceps
	FR-TF	Fétuque rouge et Trèfle fraise	30+30 kg.ha^{-1}	22%	8 x 10 ceps

accès difficile : la présence des souches rend le désherbage mécanique long et fastidieux, avec un risque d'abimer les jeunes souches. C'est pourquoi la plupart des vignerons optent pour un désherbage mécanique dans l'inter-rang couplé à un désherbage chimique sous le rang (Figure 1.1) (Gaviglio et Gontier, 2013).Depuis quelques années, les organismes techniques ont mis en place des expérimentations sur des alternatives au désherbage telles que l'enherbement sous le rang. Il s'agit de semer ou de laisser s'implanter un couvert végétal au pied des ceps, sur une largeur de 50 cm, le reste de l'inter-rang étant le plus souvent travaillé mécaniquement pour limiter la concurrence pour l'eau. Ce type d'enherbement est particulièrement intéressant dans la zone méditerranéenne où un enherbement total n'est pas envisageable à cause de la faible réserve hydrique du sol en été, et pour les domaines à forte pente (l'enherbement limite l'érosion) (Delpuech et al. 2014). De plus, il a l'avantage sur le désherbage mécanique d'être plus souple au niveau des dates d'intervention : les tontes peuvent se réaliser sur un panel de jours importants alors qu'en mécanique il faut passer quand le sol n'est pas trop sec mais avec une portance suffisante et pas avant une pluie (risque de repousse des adventices). Cette association de culture accroit potentiellement la durabilité et la stabilité du système (Altieri, 1995).

2.2.Aspects techniques de l'enherbement sous le rang

L'enherbement sous le rang étant installé dans la zone de développement préférentiel des racines de la vigne (Champagnol, 1984), il est important de choisir des parcelles à sol profond qui permettront après un temps d'adaptation, un redéploiement des racines de la vigne en profondeur (Delpuech, 2009). On évitera d'enherber des jeunes vignes, qui doivent d'abord s'implanter et atteindre un niveau de vigueur suffisant (généralement au bout de 4 à 6 ans).

Le type d'enherbement à mettre en place dépend des moyens disponibles : l'enherbement naturel est plus facile et moins coûteux à mettre en place. Il peut cependant se révéler fortement concurrentiel selon les espèces majoritaires implantées. Un enherbement semé permet de contrôler les espèces présentes et ainsi de se tourner vers des espèces peu concurrentielles, c'est-à-dire qui ont un cycle développement précoce et fanent rapidement en été. Le semis est alors réalisé à l'automne après préparation du lit de semence avec un outil inter-ceps. Dans tous les cas, une tonte à floraison permet de limiter la concurrence pour l'eau.

Le pilotage de l'enherbement sous le rang de vigne est encore malaisé car les opérations d'entretien sont réalisées entre les souches. La tonte avec des outils inter-ceps, bien que de plus en plus performants, représente toujours un risque pour les ceps, et en particulier ceux de moins de cinq ans, particulièrement fragiles.

3. Présentation du réseau d'essai

3.1.Les parcelles expérimentales

L'expérimentation est menée chez deux viticulteurs du Gard, aux environs de Nîmes : le domaine de Saint-Bénézet et le domaine Pastouret choisis pour leur intérêt dans le projet ZéroHerbicide et leur accès facilité depuis l'IFV de Nîmes (Figure 1.3). La parcelle suivie chez Saint-Bénézet est en cépage rouge (Syrah), tandis que chez Pastouret il s'agit d'un cépage blanc (Clairette) (Tableau 1.1).

	14		13		12		8		7		6	
	RG	18 ceps							TEM			Bloc 1
N →	TEM								RG			Bloc 2
	RG								TEM			Bloc 3

Figure 1.4 : Dispositif expérimental au domaine de Saint-Bénézet
Les placettes étudiées sont positionnées sur les rangs 7 et 14 de la parcelle, sur trois blocs expérimentaux (perpendiculaires à la pente).
TEM : Témoin, RG : enherbement sous le rang de la Fétuque rouge
N : direction Nord, les rangs sont orientés Est-Ouest

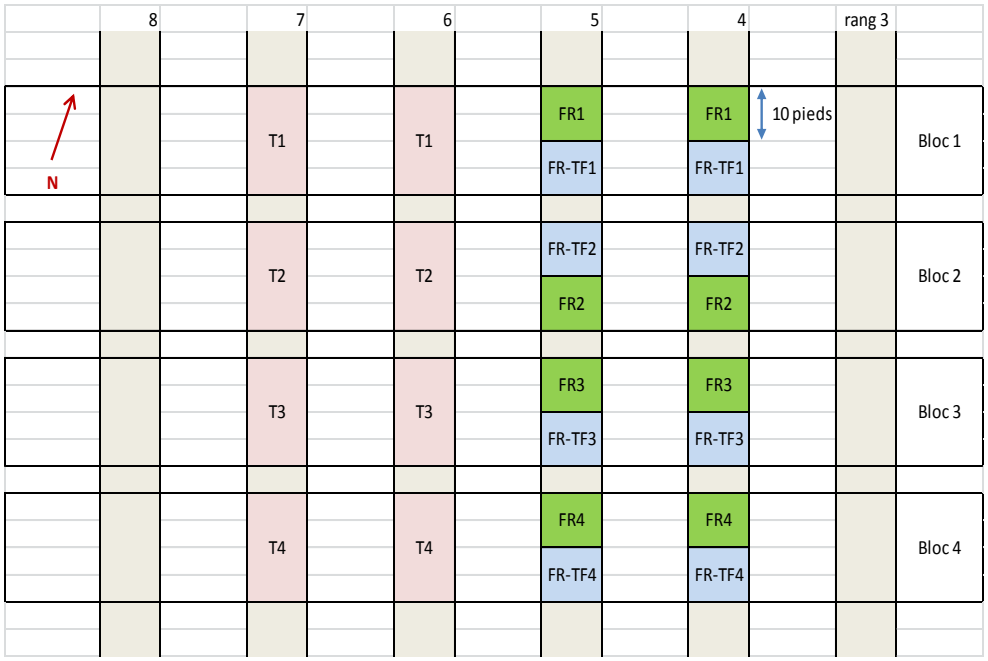


Figure 1.5 : Dispositif expérimental au domaine Pastouret
T : Témoin, FR : enherbement sous le rang de Fétuque rouge,
FR-TF : enherbement sous le rang d'un mélange de Fétuque rouge et Trèfle fraise.
N : direction Nord

3.1.1. Le domaine de Saint-Bénézet

Le domaine de Saint-Bénézet est un domaine de 200 hectares, conduit en viticulture conventionnelle. L'essai est mené sur une jeune parcelle plantée en 2005, de cépage Syrah. Il s'agit d'un des cépages rouges les plus emblématiques de la partie septentrionale des Côtes du Rhône. La taille est réalisée à la fin de l'hiver, en simple cordon de royat. La vigne est maintenue dans un état sain par traitements fongicides préventifs entre avril et fin juillet (contre le Mildiou, l'Oïdium, l'Excoriose et le Botrytis).

La parcelle présente une pente de 5% et un sol faiblement caillouteux. D'après sa teneur moyenne en argiles (25%), en limons (25%) et en sable (50%), et suivant le diagramme de classification des textures de Jamagne (1967), ce sol est un limon sablo-argileux.

3.1.2. Le domaine Pastouret

Le domaine Pastouret est un domaine de 30 hectares, en Agriculture Biologique depuis 1993. L'expérimentation est menée sur une parcelle plantée en Clairette bénéficiant de l'AOP Clairette de Bellegarde. Il s'agit d'un cépage blanc bien adapté aux sols très caillouteux des environs de Bellegarde qui présentent une grande quantité de galets roulés rhodaniens. La vigne est taillée en double cordon de royat. Le désherbage est mécanique, par alternance de décavaillonage et cavaillonage (écarter la terre des ceps puis la remettre sous le rang). Les traitements fongicides sont réalisés par pulvérisation de souffre et de cuivre entre avril et fin juillet.

3.2.Description du dispositif expérimental

Afin d'étudier l'impact d'un enherbement sur le fonctionnement d'un vignoble, des couverts ont été implantés sous le rang, avec des espèces adaptées au climat méditerranéen et peu concurrentielles.
La largeur d'enherbement est de 25 cm de part est d'autre des ceps (Figure 1.2). Ce sont des couverts permanents, c'est-à-dire qu'il n'y a pas besoin de ressemer d'une année sur l'autre. L'engazonnement est entretenu par des tontes lorsque sa hauteur dépasse 0,2 m, ce qui implique en général deux tontes par an. Le dispositif est dit « en placettes » où chaque placette estune répétition de l'une des modalités.

3.2.1. Dispositif expérimental au domaine de Saint-Bénézet

Les enherbements ont été mis en place en 2010 sous deux rangs. Le dispositif expérimental est de type blocs randomisés (Figure 1.4), avec un témoin désherbé chimiquement (TEM) et une modalité enherbée (Fétuque rouge gazonnante, *Festuca rubra*) semée à 50kg.ha^{-1} (RG). Il y a 3 répétitions de 18 ceps sur 3 blocs. (Tableau 1.2.). Dans tous les cas, le reste de l'inter-rang est désherbé mécaniquement.

L'espèce de couvert, la Fétuque rouge a été choisie pour son taux de couverture important associé à une faible compétitivité pour l'eau et les minéraux. De plus la Fétuque rouge gazonnante est une espèce dont la hauteur ne dépasse pas les 30 cm, ce qui limite le nombre de tontes.

3.2.2. Dispositif expérimental au domaine Pastouret

Les enherbements ont été semés en 2012 sous deux rangs (Figure 1.5). Le dispositif expérimental est de type blocs randomisés, avec un témoin désherbé mécaniquement et deux modalités enherbées sous le rang (Tableau 1.2). La Fétuque rouge a été choisie pour sa faible

Tableau 1.3 : Variables suivies

Compartiment	Objectif	Variables	Fréquence
Vigne	Expression végétative	- Stades phénologiques - Etat des apex - Poids des bois de taille	1 fois/mois de mars à sept 2 fois/mois de juin à sept 1 fois/saison
	Statut azoté	- N-Tester	2 fois/mois de mai à sept
	Statut hydrique	- Potentiel foliaire de base	4 fois/saison à partir de juin
	Rendement	- Poids de 50 baies - Suivi maturité - Poids de récolte par cep - Nb grappes/ cep	1 fois/semaine à partir de la véraison
Enherbement	Dynamique	- Taux de couverture	Tous les 20 jours
	Concurrence azotée	- Biomasse produite (mesure INN)	2 fois/saison
	Adventices	- Notation floristique	3 fois/saison
Sol	Disponibilité en eau	- Humidité du sol	2 fois/mois

consommation en eau, et le mélange Fétuque rouge – Trèfle fraise a été réfléchi pour tester l'influence d'une Fabacée sur le statut azoté de la vigne.

3.2.3. Les variables mesurées

Différentes mesures permettent de réaliser le suivi agronomique de l'expérimentation. Il s'agit d'établir l'expression végétative de la vigne, son statut azoté, son statut hydrique et son rendement, à mettre en relation avec le développement de l'enherbement. Les mesures réalisées (Tableau 1.3) sont décrites dans chaque chapitre concerné.

CHAPITRE II – Enherbement sous le rang : caractériser l'impact sur la vigueur et la production de la vigne

1. Introduction

Dans le contexte actuel de réduction des intrants phytosanitaires, l'enherbement en viticulture apparait comme une alternative intéressante au désherbage chimique. En effet, il permet de limiter l'implantation d'espèces très concurrentielles et se gère facilement par des tontes durant la saison. Il permet également de réduire la vigueur de la vigne dans les zones viticoles bien alimentées en eau. En région méditerranéenne, les effets d'un couvert végétal sur la vigueur et le rendement de la vigne sont encore peu connus, et les fortes sécheresses estivales font craindre la concurrence de l'enherbement pour l'eau (Goma-Fortin 2002, Chantelot et al. 2004, Celette et Gary 2009, Celette, 2007). La vigueur excessive n'est pas un problème sous ce climat, contrairement aux niveaux de productions faibles qui n'atteignent pas toujours les objectifs de rendement par manque d'eau. Un enherbement placé exclusivement sous le rang permet de réduire la proportion d'inter-rang enherbée et donc la quantité d'eau consommée par le couvert. Cependant la zone sous le rang est la zone de développement préférentiel des racines de la vigne (Celette, 2007), l'enherbement y est donc potentiellement plus concurrentiel pour l'eau et les nutriments. Or la vigne est une culture bien adaptée à la sécheresse grâce à un système racinaire pivotant très développé : (Champagnol, 1984) Cependant, un stress hydrique prolongé ou à un stade critique affecte le rendement et la qualité des baies (Matthews et al., 1997, Pellegrino, 2003). L'objectif de ce chapitre est d'étudier l'impact d'un enherbement sous le rang sur le niveau de vigueur et de production de la vigne. Une meilleure connaissance de cet impact permettrait une gestion plus raisonnée de l'enherbement vis-à-vis des objectifs de production.

2. Matériel et Méthodes

2.1.Taux de couverture de l'enherbement

La croissance de l'enherbement renseigne sur le degré de compétition pour les ressources. C'est pourquoi le taux de couverture de la zone sous le rang a été suivi durant toute l'étude. Le taux de couverture global (Tc), la proportion de l'espèce semée, et la proportion de mulch ont été estimées visuellement tous les mois depuis la date de semis. On considère que la part de sol couvert qui n'est ni du mulch ni de l'espèce semée est des adventices. On cherche à repérer les périodes de développement de l'enherbement durant la saison et à déterminer sa pérénité c'est-à-dire sa capacité à couvrir efficacement le sol d'une année sur l'autre.

2.2.Impact sur l'expression végétative de la vigne

2.2.1. Dynamique de la croissance d'apex

La méthode dite « de comptage des apex » permet d'évaluer l'état de croissance végétative de la vigne. En effet, l'apparition de nouvelles feuilles est l'une des premières fonctions physiologiques affectées par une contrainte hydrique précoce (Wery, 2005). En période de croissance l'exportation des éléments de la photosynthèse est prioritairement dirigée vers l'extrémité des rameaux, alors qu'en période de maturation, si les vignes sont peu vigoureuses la priorité est donnée aux baies plutôt qu'aux parties végétatives. La méthode proposée par Rodriguez Lovelle et al. (2009) est basée sur l'observation des méristèmes

Tableau 2.1 : Classification des apex (d'après Rodriguez Lovelle et al., 2009)

Stade 2	Stade 1	Stade 0
Organogenèse active. L'apex se place au-dessus des deux dernières feuilles étalées.	Organogenèse réduite. L'apex est caché par les deux dernières feuilles étalées.	Croissance arrêtée. L'apex est sec ou déchu.

terminaux, elle est rapide et non-destructive. Les apex sont répartis en trois classes : stade 2 (croissance active), stade 1 (croissance ralentie), stade 0 (croissance arrêtée) (Tableau 2.1). Le rapport α=(Nb2-Nb0)/Nbtot (avec Nb2 : nombre d'apex en croissance active, Nb0 : nombre d'apex déchus, Nbtot : nombre total d'apex) est l'indicateur de croissance étudié. Le comptage est réalisé sur 25 apex primaires par placette, répartis sur 5 ceps sains repérés en milieu de placette. Les mesures commencent après floraison, tous les 20 jours, sauf après un rognage où un délai de 15 jours est nécessaire avant la mesure suivante.

2.2.2. Poids des bois de taille

Cette mesure, réalisée en hiver lors de la taille, permet d'estimer la vigueur de la vigne du millésime précédent. Le nombre de rameaux par cep ainsi que le poids des bois de taille par cep sont relevés. Au domaine Pastouret les mesures sont réalisées sur 8 ceps par placette, tandis qu'au domaine de Saint-Bénézet, les mesures sont réalisées sur 10 ceps par placette. Les données vont jusqu'à la taille de janvier 2015, c'est-à-dire le millésime 2014.

2.2.3. Le N-Tester, un indicateur du statut azoté de la vigne

Pour appréhender le statut de nutrition azotée de la vigne, la mesure dite « N-Tester » est utilisée. L'intensité de la coloration du feuillage varie avec le statut azoté de la vigne, et celle-ci peut être évaluée au vignoble à l'aide d'un appareil de mesure N-Tester (société Norsk-Hydro, France) (Spring 1999, Tregoat et al., 2002). L'influence de l'enherbement sur le statut de nutrition azotée de la vigne est testée. Au domaine Pastouret, où du Trèfle fraise a été semé en mélange (FR-TF) on a cherché à estimer les différences de nutrition de la vigne dans le cas d'une fixation symbiotique de l'azote atmosphérique par le couvert. L'échantillonnage porte sur les feuilles de la zone des grappes, sur des ceps sains, repérés et au centre de la placette. 30 mesures par placette sont réalisées, en veillant à alterner sur les deux faces du plan de palissage car l'éclairement a un impact sur la coloration des feuilles.

2.3.Impact sur la production de la vigne

La question de l'impact de l'enherbement sur le rendement est celle qui soulève le plus de craintes chez les viticulteurs de la région méditerranéenne. Il s'agit d'étudier l'impact de la présence d'un enherbement sur le niveau de production de la vigne.

2.3.1. Analyse de maturité des baies

Une analyse de maturité des baies a été réalisée de façon hebdomadaire à partir de la véraison (Annexe II) en 2015 pour étudier l'impact de l'enherbement sur la dynamique de maturité des baies. Les variables mesurées sont l'acidité totale et degré alcoolique potentiel L'analyse est réalisée sur 50 baies par placette prélevées de manière aléatoire sur les deux faces du rang et à différentes positions sur la grappe.

2.3.2. Rendement

Les données de récolte jusque la vendange de 2014 ont été étudiées. Sur chaque placette, le les grappes de 10 ceps au domaine de Saint-Bénézet ont été comptées puis prélevées et pesées. Au domaine Pastouret, les mesures ont été réalisées sur 4 ceps.

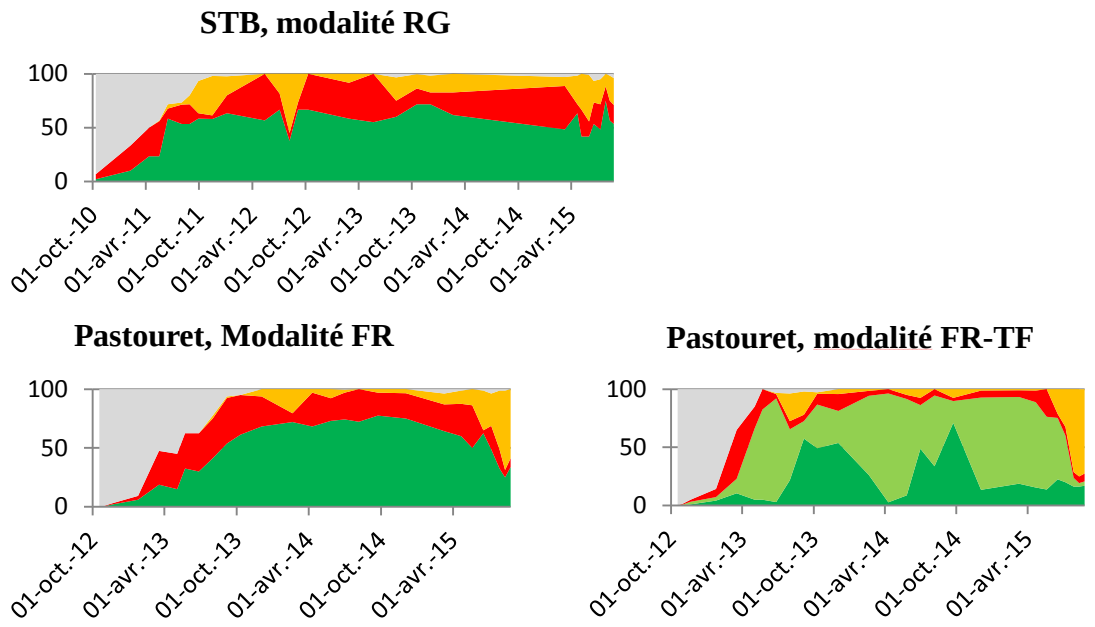


Figure 2.1 : Dynamique de recouvrement de l'enherbement
RG et FR : enherbement sous le rang de Fétuque rouge, FR-TF : enherbement sous le rang d'un mélange de Fétuque rouge et de Trèfle fraise.
STB : domaine de Saint-Bénézet
( ) : Fétuque rouge, ( ) : Trèfle fraise, ( ) Adventices, ( ) Mulch, ( ) Sol nu

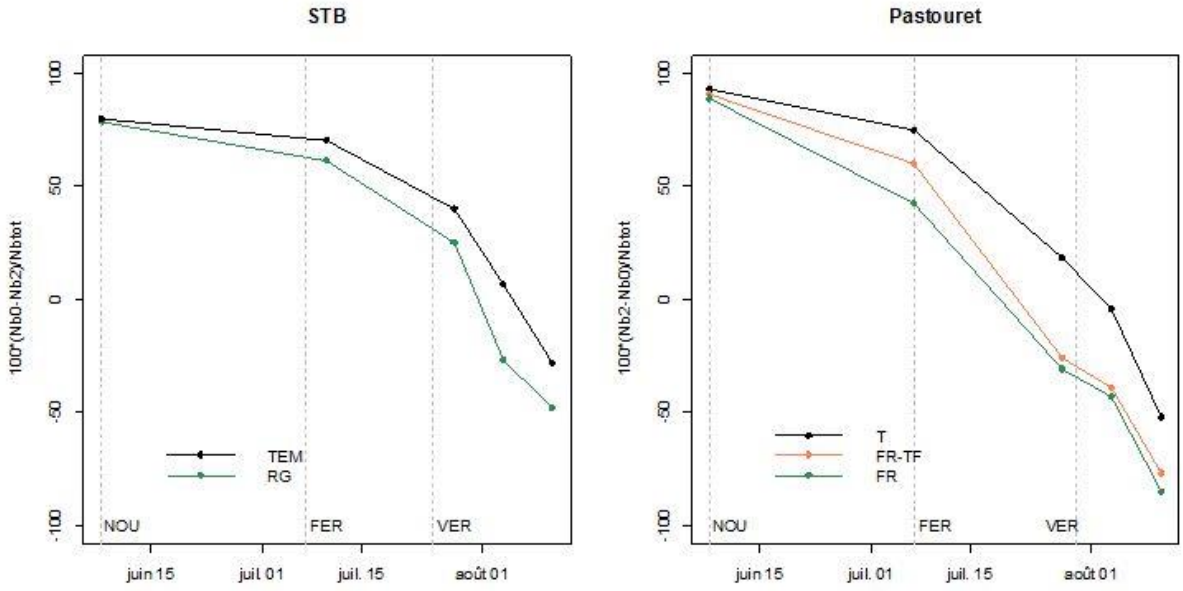


Figure 2.2 : Dynamique de croissance des apex
NOU : Nouaison, FER : Fermeture de la grappe, VER : Véraison
(a) Domaine de Saint-Bénézet : la différence entre modalités n'est significative pour aucune date de mesure (p=0.05).
(b) Domaine Pastouret : la différence entre modalités est significative pour les quatre dernières dates de mesure (p=0.05).

3. Résultats

3.1.Dynamique de recouvrement de l'enherbement

Sur les deux essais, l'enherbement de Fétuque rouge a une dynamique de recouvrement qui s'initie au printemps de la première année, avec une implantation plus rapide au domaine de Saint-Bénézet : au bout de six mois Tc_{max} = 60% est atteint alors qu'il faut un an au domaine Pastouret pour atteindre le même taux de recouvrement (Figure 2.1). Les placettes sont globalement salies dans la même proportion (25%) sauf en 2015 ou au domaine Pastouret des adventices (*Trifolium angustifolium, Anthriscus sylvestris*) se développent plus.

Le mélange FR-TF du domaine Pastouret atteint un Tc_{max} de 90% dès le printemps de la première année grâce à un rapide développement du Trèfle fraise. La part de Trèfle fraise est fortement réduite à la fin des étés, remplacé par la Fétuque rouge qui résiste mieux à la sécheresse. Le taux d'adventice dépasse rarement 10%.

La Fétuque rouge a été choisie pour sa faible compétitivité et sa résistance à la sécheresse, éléments qui se retrouvent bien dans les dynamiques d'enherbement. Le Trèfle fraise est une espèce moins connue en termes d'enherbement viticole. Son fort développement en avril-mai, c'est-à-dire conjointement au pic de développement végétatif de la vigne laisse présager une compétition pour l'eau et les nutriments.

3.2.Impact sur l'expression végétative de la vigne

3.2.1. Dynamique de la croissance d'apex

Dynamique de la croissance des apex à Saint-Bénézet

La modalité témoin et la modalité enherbée ont une dynamique de croissance d'apex similaire : le rapport α=(Nb2-Nb0)/Nbtot est stable autour de 75% jusqu'à la mi-juillet, moment à partir duquel les apex commencent à sécher et la croissance est fortement ralentie. La modalité enherbée a un arrêt de croissance légèrement plus précoce que la modalité témoin : le rapport α chute plus vite (Figure 2.2). Néanmoins, la différence n'est jamais significative statistiquement.

Dynamique de la croissance des apex à Pastouret

Les apex sont en croissance active jusqu'à la fermeture de la grappe début-juillet. Les modalités enherbées ont un arrêt de croissance plus précoce que la modalité témoin : le rapport α=(Nb2-Nb0)/Nbtot chute plus rapidement. La différence entre la modalité témoin et les modalités enherbées est significative pour les quatre dernières mesures (de début juin à début juillet), avec une croissance végétative qui dure plus longtemps dans la saison, le rapport α étant supérieur de 40% pour le témoin. Il n'y a pas de différence significative entre les deux types d'enherbements.

3.2.2. Vigueur

Vigueur à Saint-Bénézet

D'une année sur l'autre la variabilité du nombre de rameaux par cep est faible, avec une moyenne de 11,3 et un écartype de 0,38. Le caractère enherbé ou non ne semble pas affecter cette variable (Figure 2.3). Le poids de bois de taille est plus variable d'une année sur

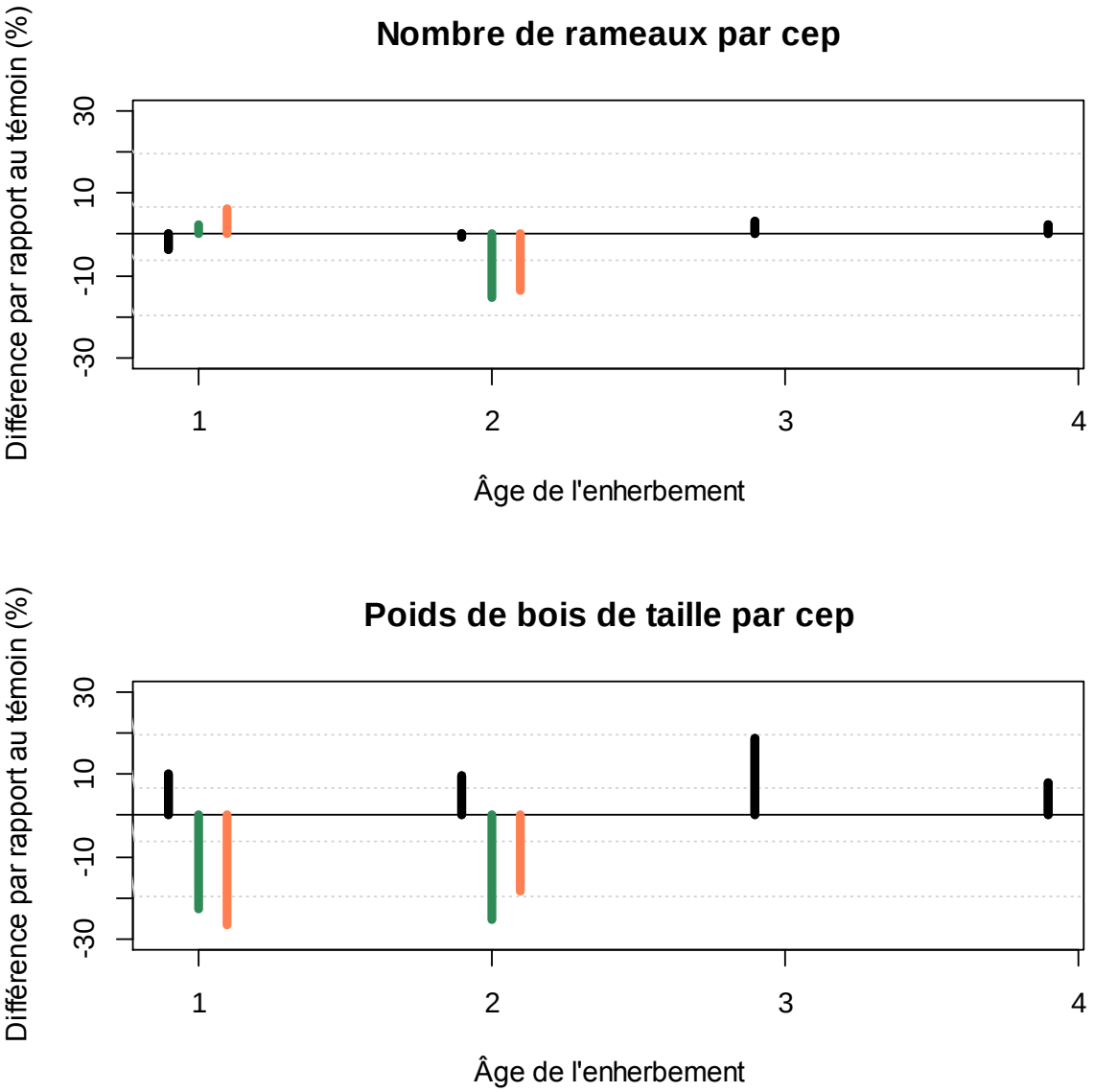


Figure 2.3 : Impact de l'enherbement sur la vigueur de la vigne, différence par rapport au témoin

(a) Nombre de rameaux par cep, (b) Poids de bois de taille par cep

Domaine de Saint-Bénézet : (▌) modalité RG, année 0 = 2010

La différence entre modalités n'est significative pour aucun millésime pour le nombre de rameaux par cep et poids de bois de taille (p=0.05)

Domaine Pastouret : (▌) modalité FR, (▌) modalité FR-TF, année 0 = 2012

Pour le nombre de rameaux par cep, la différence entre modalités est significative pour la deuxième année du couvert : FR et FR-TF sont différents du témoin (p=0,05).

Pour le poids de bois de taille, la différence entre modalités est significative pour les deux millésimes étudiés : FR et FR-TF sont différents du témoin (p=0,05).

l'autre (écart-type de 107 g) et entre les modalités. Les poids de bois de taille de la modalité enherbée sont supérieurs de 10% en moyenne par rapport à la modalité témoin mais la différence n'est jamais significative statistiquement (p=0.05).

Vigueur à Pastouret

Tous millésimes et modalités confondus, le nombre de rameaux par cep est en moyenne de 14,7 (écart-type=1,0). Le bois de bois de taille est de 491 g par cep en moyenne (écart-type=127g).Pour les deux années considérées, le poids des bois de taille de la modalité témoin est significativement supérieure à celui des modalités enherbées (p=0.05) (Figure 2.3). En 2012, c'est la modalité FR qui de détache des deux autres traitements, avec un poids de bois de taille inférieur de 20%.

3.3.Le N-Tester, un indicateur du statut azoté de la vigne

Statut azoté à Saint-Bénézet

La modalité témoin est mieux alimentée en azote que la modalité enherbée : sur les cinq dates de mesures, quatre présentent une différence significative de valeur de N-tester entre les traitements. La consommation de nutriments par la Fétuque rouge a donc une influence sur le statut d'alimentation azotée de la vigne à partir de la nouaison.

Statut azoté à Pastouret

Pour les trois traitements, les valeurs de N-tester augmentent jusqu'à la véraison, stade à partir duquel cet indicateur de la nutrition azotée se stabilise. Sur les quatre dates de mesures, la modalité FR se distingue statistiquement des modalités TEM et FR-TF avec des valeurs de N-Tester inférieures de l'ordre de 12% par rapport au témoin. La modalité FR-TF se distingue du témoin à partir de la véraison, avec des valeurs de N-Tester inférieures de 6%. La présence d'un enherbement exerce donc une compétition pour les ressources azotées, mais dans le cas d'un enherbement contenant une légumineuse comme le trèfle, la nutrition azotée de la vigne se rapproche de celle de la vigne témoin.

3.4.Impact sur la production de la vigne

3.4.1. Analyse de la maturité des baies

Contrôle maturité au domaine de Saint-Bénézet

Pour les deux modalités la dynamique de l'évolution du poids de 200 baies est similaire : il augmente de 50g par semaine entre le 1er et le 10 août puis se stabilise à 440 g en moyenne. Chez le témoin, une diminution du poids des baies est observée fin août. Le poids des baies est significativement différent entre les deux modalités pour deux dates : le 4 août et le 18 août. La modalité enherbée a pour ces dates un poids des baies supérieur de 5% par rapport au témoin (Annexe II)

Les deux modalités ont un degré potentiel en alcool équivalent quelle que soit la date considérée. L'évolution est linéaire à partir de la véraison : + 0.75° par semaine.

Contrôle maturité au domaine de Pastouret

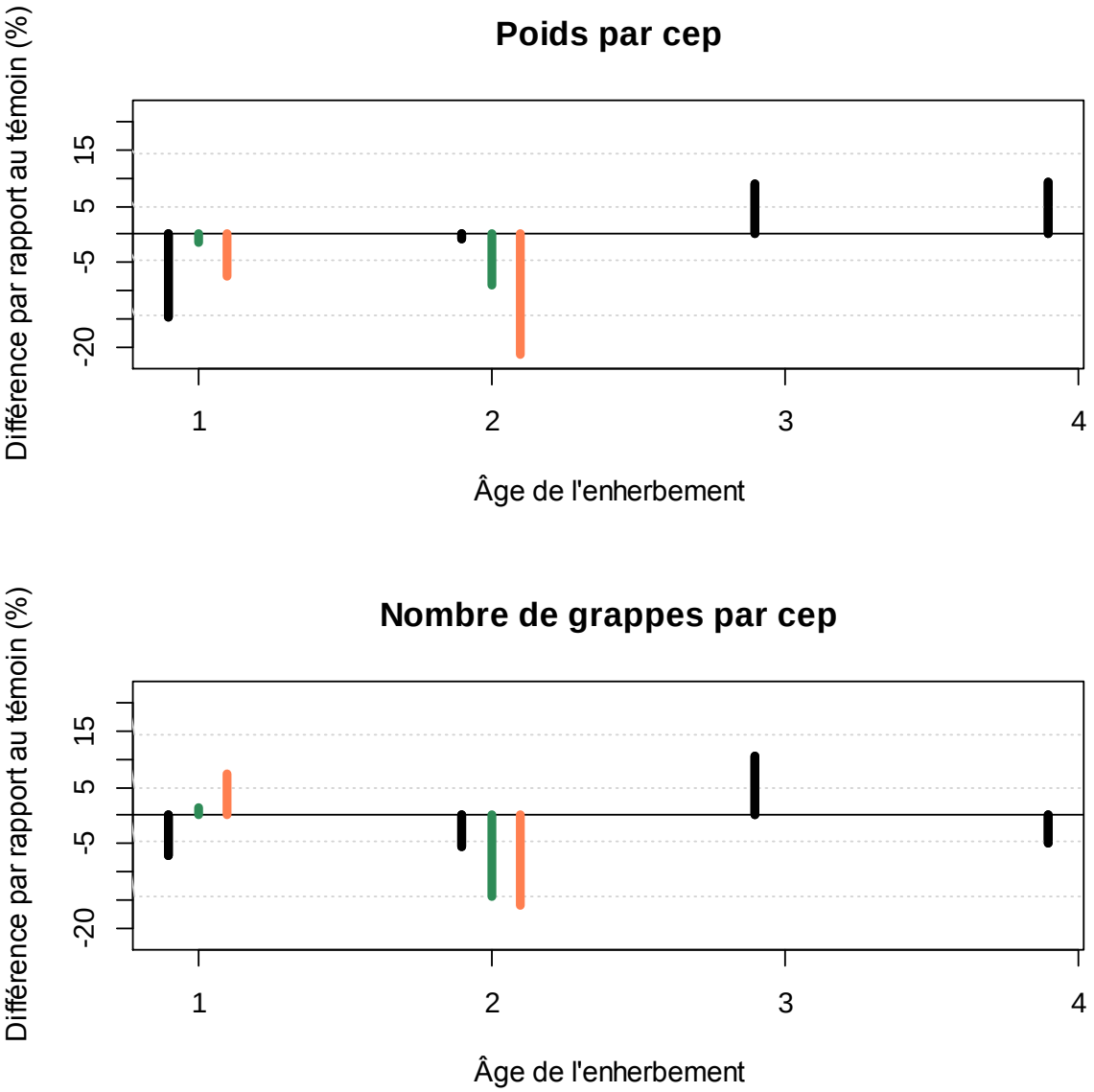


Figure 2.4 : Impact de l'enherbement sur le rendement de la vigne, différence par rapport au témoin

(a) Poids par cep, (b) Nombre de grappes par cep

Domaine de Saint-Bénézet : (▌) modalité RG, année 0 =2010

Pour le poids par cep, FR et FR-TF sont significativement différents du témoin la première et la quatrième année (p=0.05). Le nombre de grappes par cep n'est jamais significativement différent.

Domaine Pastouret : (▌) modalité FR, (▌) modalité FR-TF, année 0 = 2012

Pour le poids par cep, la différence entre modalités n'est significative pour aucun millésime (p=0.05), pour le nombre de grappes par cep, FR et FR-TF sont significativement différents du témoin la deuxième année (p=0,05)

Le poids des baies est équivalent pour les trois modalités étudiées. Il augmente fortement la semaine suivant la véraison (+ 60g pour 200 baies), puis l'augmentation ralentit (+30g pour 200 baies par semaine).

L'évolution du degré potentiel en alcool est très homogène pour les différentes modalités. Elle est de l'ordre de +1° par semaine.

3.4.2. Rendement

Rendement à Saint-Bénézet

Quelle que soit la modalité d'entretien du sol, on constate que 2011 est l'année au rendement le plus élevé avec une moyenne de 3,9 $kg.cep^{-1}$, c'est-à-dire 19,5 $T.ha^{-1}$ (seuls des pieds bien portants étant sélectionnés pour l'essai, ce rendement est toutefois théorique). Ce bon rendement s'explique par le poids des grappes, inhabituellement élevés, tandis que les autres composantes du rendement restent dans la moyenne des autres années. La première et la quatrième année, le rendement de la modalité enherbée est significativement différent de celui de la modalité témoin : -15% en 2011 et +10% en 2014. Le nombre de grappes par ceps n'est jamais affecté.

Rendement à Pastouret

Le rendement ne semble pas être affecté par l'enherbement : en moyenne la clairette produit 3,1 $kg.cep^{-1}$ c'est-à-dire 11,9 $T.ha^{-1}$ et le poids par cep n'est différent pour aucun millésime. Le nombre de grappes par cep moyen est de 13,3 (écart type =1,8) pour la période suivie. En 2014, le nombre de grappes par cep des modalités enherbées est significativement différent de celui du témoin (-15%).

4. Discussion – Conclusion

Les deux études suivies montrent que l'effet d'un enherbement placé sous le rang de vigne dépend du cépage, de la parcelle et de l'espèce semée en couvert, et que les rendements peuvent être affectés. Dans le cas du cépage de Syrah (essai au domaine de Saint-Bénézet) la vigueur n'est pas affectée pendant les cinq années de mesure, résultat à mettre en relation avec le caractère très poussant de ce cépage, dont la dynamique de croissance des apex n'est pas affectée par un enherbement. Dans le cas du cépage de clairette (essai au domaine Pastouret) la vigueur de la vigne est affectée par la présence d'un couvert : les rameaux sont moins longs et moins développés. Ces résultats s'expliquent par un arrêt précoce de la croissance des apex qui entrent en sénescence. La différence de nutrition azotée est un facteur explicatif à cette diminution de la vigueur, en particulier pour l'enherbement de Fétuque rouge, plus compétitif pour les nutriments azotés que le mélange Trèfle fraise et Fétuque rouge. Malgré l'apport d'azote par le Trèfle fraise, l'impact du couvert enherbé sur la vigueur et le nombre de grappes significatif, la compétition prédominante semble donc être la compétition hydrique. L'eau semble être sous ce climat méditerranéen le facteur limitant au développement de la vigne (Seguin, 1983), l'impact de la présence d'un enherbement sous le rang de vigne sur la disponibilité en eau sera l'objet d'étude prochain chapitre.

CHAPITRE III – Compétition pour l'eau : modéliser la dynamique de l'eau dans l'association vigne-enherbement sous le rang en région méditerranéenne

1. Introduction

Dans les régions méditerranéennes à sécheresse estivale marquée, la concurrence d'un enherbement pour les ressources en eau du sol est l'élément clé à raisonner. Pour cela, une connaissance approfondie de la dynamique de l'eau dans le système vigne-enherbement-sol est indispensable. Le modèle du bilan hydrique permet d'évaluer la disponibilité en eau du système. Il fournit des indicateurs pour l'aide au pilotage de la parcelle, en particulier aux stades clés de la vigne, moments où le développement et la qualité des baies peuvent être affectés (Wery 2005).
L'objectif de cette étude est dans un premier temps d'analyser l'impact d'un enherbement localisé sous le rang sur la dynamique de l'eau dans le sol. Dans un second temps nous testerons la validité du modèle WaLIS (Water baLance for Intercropped Systems), modèle du bilan hydrique adapté aux vignes enherbées par Celette en 2007. Il prend donc en compte la consommation d'eau par l'herbe, ce qui est intéressant pour cette étude. Cependant, il a été conçu pour des vignobles enherbés dans l'inter-rang et désherbés sous le rang. Le modèle WaLIS est-il est adapté aux vignes enherbées sous le rang ? Les résultats d'une expérimentation menée pendant cinq ans par l'IFV[1] sur la dynamique de l'eau dans le sol ont été utilisés pour répondre à cette problématique.

2. Matériel et Méthodes

2.1.Conditions expérimentales

2.1.1. Description du site expérimental : un essai d'enherbement sous le rang

L'essai a été mené entre 2011 et 2015 sur la parcelle du domaine de Saint-Bénézet, près de Nîmes (descriptif des parcelles expérimentales Chapitre I, 4.1). Le climat est de type méditerranéen. L'enherbement étudié est de la Fétuque rouge semée sous le rang, sur une largeur totale d'environ 50 cm soit 20% de la surface (descriptif du dispositif expérimental Chapitre I, 3.2). La parcelle est non irriguée.

2.1.2. Cinq années climatiques contrastées

Les données météorologiques quotidiennes ont été récupérées dans la base de données de l'IFV, pour la station de Garons (43°44'38.4"N 4°25'58.8"E) (Figure 3.2). Les cinq années étudiées se différencient surtout par leur pluviométrie, avec des années sèches comme 2012 (434 mm contre les 763 mm moyens entre 1981 et 2010) caractérisée par un printemps et un automne peu pluvieux, et des années pluvieuses comme 2014 (957 mm) caractérisée par un automne très humide (Tableau 3.1). La température moyenne annuelle est peu variable (autour des 15,2 °C moyens de la région), 2015 se détachant cependant par un été plus chaud.

[1] IFV : Institut Français de la Vigne et du Vin

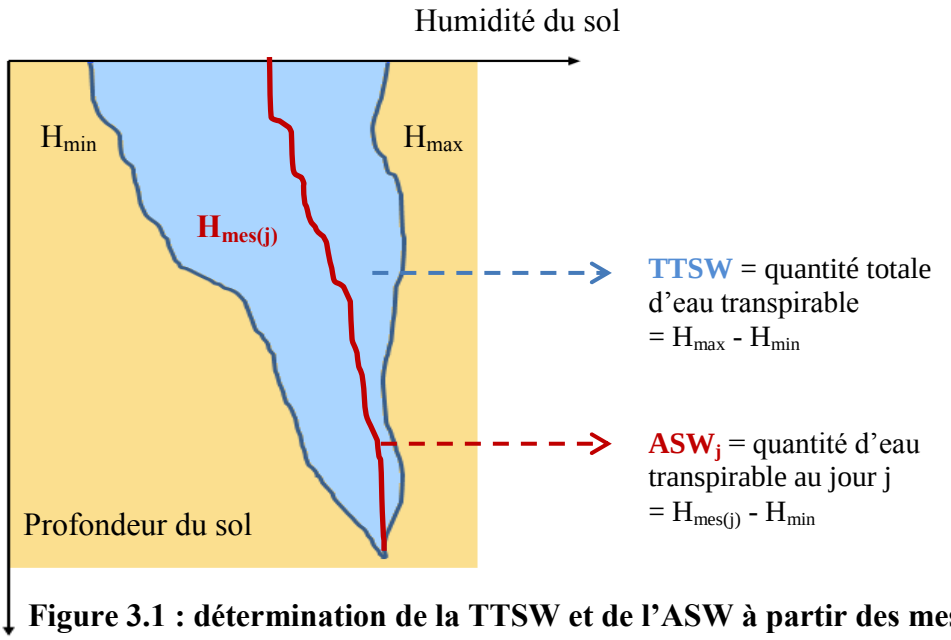


Figure 3.1 : détermination de la TTSW et de l'ASW à partir des mesures d'humidité du sol

H_{min} (resp. H_{max}) est l'humidité minimale (resp. maximale) mesurée sur le profil au cours des cinq années de mesure. $H_{mes(j)}$ est l'humidité du sol mesurée au jour j. Ces valeurs sont fixes pour chaque placette tout au long du suivi.
TTSW: Total Transpirable Soil Water (mm)

Tableau 3.1 : Données météorologiques annuelles du domaine de Saint-Bénézet
(* Pour 2015, seules les données jusqu'au 31 juillet ont été enregistrées)

	2011	2012	2013	2014	2015*
Précipitations (mm)	700	434	616	957	350
Temp moyenne (°C)	15,3	14,9	14,1	15,8	14,9
Temp min (°C)	6,0	3,6	4,3	7,8	5,9
Temp max (°C)	23,5	25,0	25,2	23,0	26,3
ETP cumulée (mm)	1399	1471	1395	1503	892

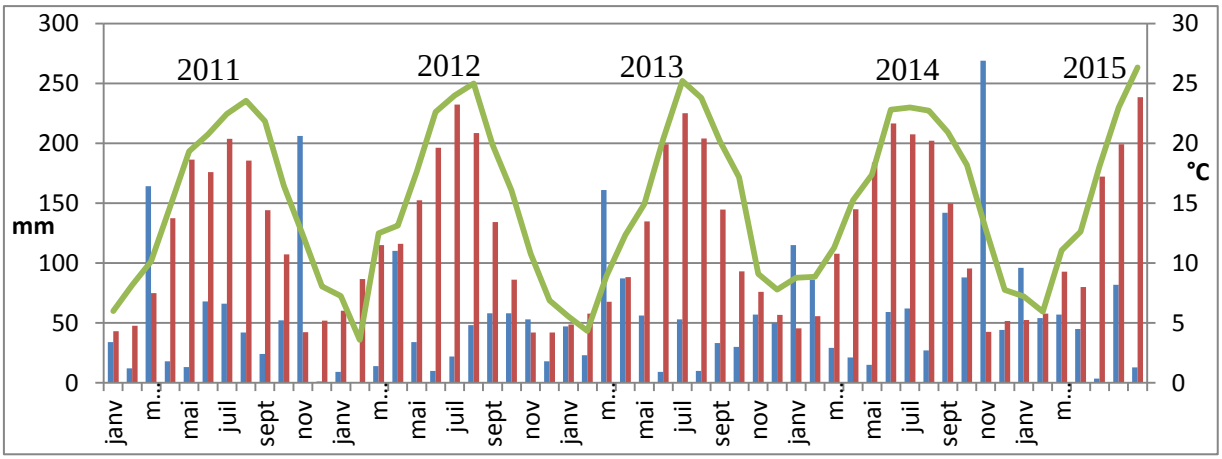


Figure 3.2 : Données météorologiques mensuelles du domaine de Saint-Bénézet

(—) Température, (|) Précipitations, (|) ETP

2.2. Indicateurs de disponibilité en eau et de stress hydrique

2.2.1. Mesure de l'humidité du sol et calcul de la FTSW

Le suivi de l'humidité du sol se fait à l'aide de sondes capacitives Diviner 2000© qui comptent par électromagnétisme les molécules d'eau présentes dans un volume de sol défini autour du capteur. Lors de la mesure, on plonge le capteur dans un tube de PVC préalablement installé au champ, sous le rang de vigne. L'humidité est mesurée sur des tranches de 10 cm. La quantité d'eau totale transpirable (TTSW pour Total Transpirable Soil Water, en mm) est déterminée pour chaque tronçon de 10 cm de profondeur par différence entre l'humidité maximale H_{max}[2] et l'humidité minimale H_{min}[3] (Figure 3.1). La TTSW de l'ensemble du profil est la somme des TTSW mesurés pour chaque tronçon de 10 cm (calcul décrit par Pellegrino et al., 2004). Pour une date de mesure donnée, l'eau disponible du sol (ASW pour Available Soil Water, en mm) est calculée par différence entre l'humidité mesurée ($H_{mes(j)}$) et l'humidité minimale (H_{min}). L'ASW de l'ensemble du profil est la somme des ASW mesurés pour chaque tronçon de 10 cm. La variable qui représente le mieux le stress hydrique subi par la plante est la FTSW (Fraction of Transpirable Soil Water) (Pellegrino et al, 2006) :

$$\mathbf{FTSW_j = \frac{ASW_j}{TTSW}}$$

Avec $FTSW_j$: la fraction d'eau du sol transpirable au jour j
ASW_j : l'eau du sol disponible à la plante au jour j (mm)
TTSW : stock total d'eau transpirable par la plante (mm)

Ces mesures permettent donc d'avoir accès à l'évolution du stock d'eau disponible au cours de l'année.

2.2.2. Le potentiel hydrique de base, indicateur du stress hydrique de la vigne

Le potentiel hydrique foliaire de base (Ψ_b) permet d'appréhender de manière dynamique la contrainte hydrique subie par la vigne. Il est mesuré à la fin de la nuit, quand la transpiration de la vigne est négligeable et que la tension de la sève est en équilibre avec le potentiel hydrique du sol dans la zone d'implantation des racines. Il a été mesuré tous les vingt jours de début juin jusqu'aux vendanges, sur cinq feuilles par répétition.

2.3.Le modèle du bilan hydrique adapté à la vigne enherbée

2.3.1 Le Modèle WaLIS

Le modèle WaLIS (Water baLance for Intercropped Systems) est un modèle du bilan hydrique adapté par Celette (2007) à la vigne palissée enherbée dans l'inter-rang (Figure 3.3). Il permet de modéliser à un pas de temps journalier l'eau disponible à la vigne et à l'enherbement en tenant compte de leurs consommations respectives. Les variables d'entrée sont les données météorologiques journalières : température moyenne, pluviométrie, doses d'irrigation et ETP Penman. Le sol est représenté par deux compartiments : un compartiment

[2] H_{max} : humidité maximale du profil, c'est une valeur fixe tout au long du suivi, mesurée après une période pluvieuse sur profil rechargé
[3] H_{min} : humidité minimale du profil, c'est une valeur fixe tout au long su suivi, mesurée après un été sec

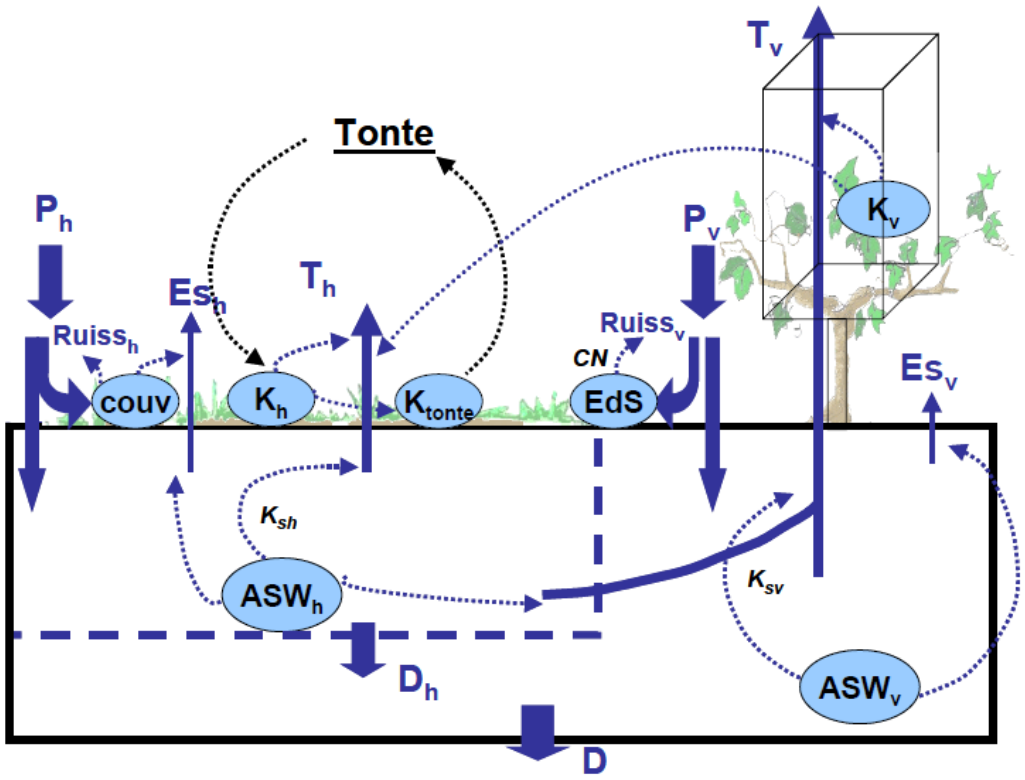
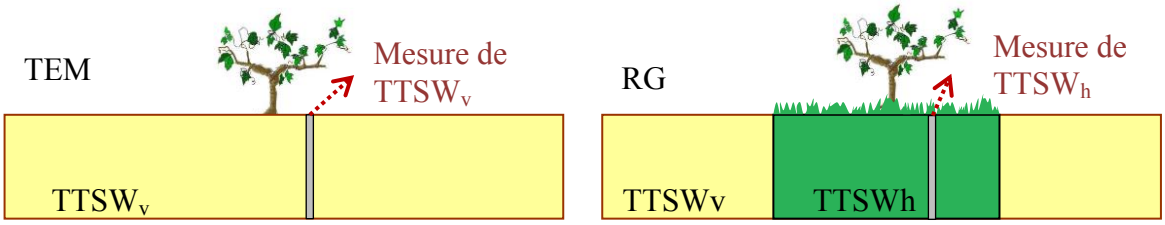


Figure 3.3 : Schéma conceptuel du modèle de bilan hydrique établi pour une vigne enherbée (Celette, 2007). La lettre associée au nom de certaines variables représente le compartiment ou la plante auquel elles sont associées avec h pour l'enherbement et v pour la vigne. Les noms de variables encerclés représentent les variables définissant l'état des différents éléments du système : le contenu en eau disponible pour le couvert dans le compartiment X (ASW_X), le taux de couverture de la surface enherbée (Couv), le coefficient cultural de l'enherbement (K_h), le coefficient déterminant le déclenchement de la tonte par rapport au K_h (K_{tonte}), le coefficient d'interception du rayonnement par la vigne – détermine la part de l'ETP transpirée par la vigne (K_v), l'état de surface du sol, caractérisé par le CN, qui détermine la sensibilité au ruissellement du système. Les flèches pleines représentent les principaux flux : la part des précipitations destiné au compartiment X (P_X), la part du ruissellement n'entrant pas dans le compartiment X (Ruissx), la part de l'évaporation du sol nu dans le compartiment X (Esx), la transpiration de la plante X (T_X), le drainage du compartiment h vers le compartiment v (D_h), la perte d'eau du système par drainage profond (D). Les flèches en pointillés représentent les régulations des différents flux avec : le coefficient de régulation de la transpiration par la contrainte hydrique (Ksx) et le Curve Number qui est le facteur utilisé pour déterminer le coefficient de ruissellement en fonction de la couverture du sol et de l'état de surface (CN).



$TTSW_v = TTSW_{TOT}$

$TTSWv = (1\text{-}Couv)\ TTSW_{TOT}$

$TTSWh = Couv\ (TTSW_{TOT})$

Figure 3.4 : Compartimentation du sol adaptée à un enherbement sous le rang
TEM : Témoin, RG : modalité enherbée sous le rang
$TTSW_V$: Eau disponible pour la vigne seulement
$TTSW_h$: Eau disponible à la fois à la vigne et à l'enherbement
Couv : taux de couverture de la surface enherbée

(V) auquel seule la vigne peut accéder et un compartiment (h) dans lequel à la fois la vigne et l'enherbement peuvent puiser de l'eau (Figure 3.4).

En tant que bilan hydrique, le modèle WaLIS peut être représenté par l'équation simplifiée :

$$\Delta \mathrm{ASW_j} = (\mathrm{P} + \mathrm{I})_\mathrm{j} - R_j - \mathrm{T_j} - \mathrm{Es_j} - \mathrm{D_j}$$

Avec ΔASW_j : la variation du stock d'eau du sol disponible au jour j ($mm.j^{-1}$)
P : les précipitations ($mm.j^{-1}$) | I : l'irrigation ($mm.j^{-1}$)
R : le ruissellement de surface ($mm.j^{-1}$)
T : la transpiration du couvert végétal ($mm.j^{-1}$)
Es : l'évaporation du sol nu ($mm.j^{-1}$)
D : le drainage ($mm.j^{-1}$)

2.3.2. Paramétrage du modèle

Deux situations sont simulées : la modalité témoin (TEM) où l'ensemble du sol est nu et la modalité RG où une proportion « Couv » du sol est enherbée sous le rang et le reste du sol est nu (Figure 3.4). Trois facteurs sont importants à estimer : les TTSW des compartiments, le kmax de la vigne et les coefficients de ruissellement. Leur estimation est difficile et influence fortement les sorties du modèle (Roux et Delpuech, 2014). Tous les paramètres des deux simulations sont présentés dans l'Annexe III.

Paramétrage de la TTSW

La réserve maximale en eau utilisable par les racines est calculée à partir du profil du sol le plus humide et le plus sec observés (Figure 3.2) sur la période 2011-2015. Pour la modalité enherbée, le sol est compartimenté en fonction de la proportion Couv d'enherbement. Sur ce sol superficiel, il est considéré que les racines de vigne ou d'herbe ont la capacité de descendre jusqu'à l'encroutement calcaire qui délimite le fond du profil.

$TTSW_h$ = Couv x $TTSW_{TOT}$ et $TTSW_V$= (1-Couv) x $TTSW_{TOT}$

Avec : $TTSW_h$ et $TTSW_v$ et $TTSW_{TOT}$ la quantité d'eau totale transpirable des compartiments « enherbement », « vigne » et « total », couv : la proportion de sol enherbé.

Paramétrage du Kmax

Le coefficient d'interception maximal du rayonnement de la vigne est calculé à partir des mesures de gabarit de végétation, de l'orientation des rangs et de la position de la parcelle (Riou et al., 1989). Pour la vigne étudiée, le Kmax est de 0,47 pour la modalité témoin et de 0,39 pour la modalité RG (réduction de 17% observée par Celette, 2007).

Paramétrage des coefficients de ruissellement

Le coefficient de ruissellement (CN) varie selon le type de sol et d'entrtien (Amengual et al., 2007). La parcelle étudiée appartient au groupe B (sol à bonne capacité d'infiltration), on a donc d'après l'abaque proposé par les auteurs $CN_{sol\ nu}$ = 83 et CN_{enh}=75.

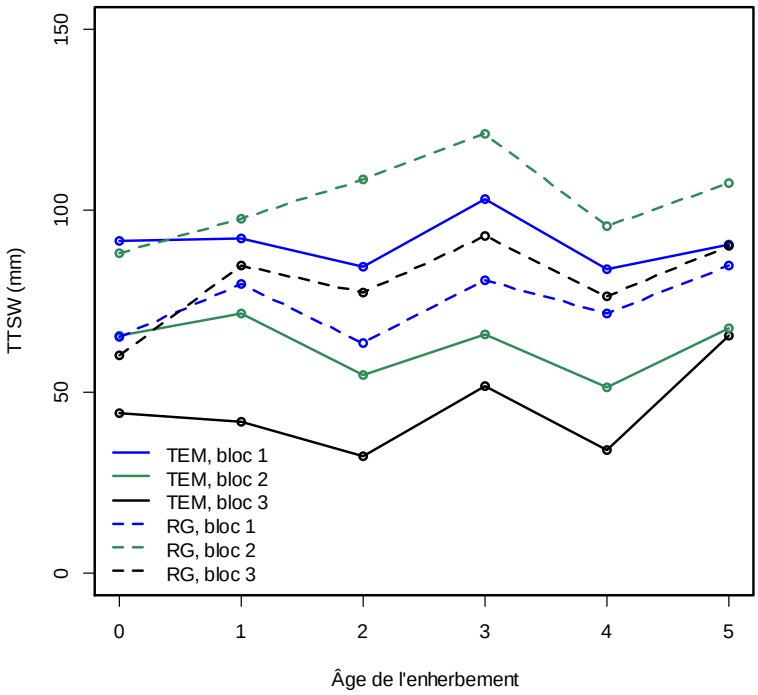


Figure 2.9 : TTSW de chaque placette en fonction de l'âge de l'enherbement
Année 0 : 2010

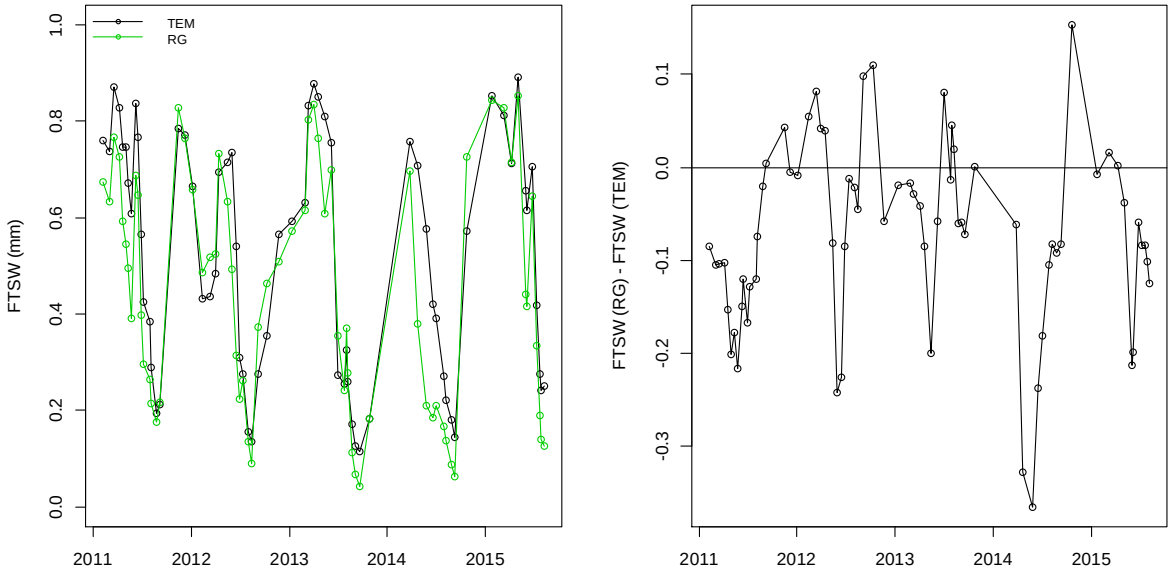


Figure 2.10 : (a) Mesure de la FTSW au cours de la période 2011-2015
(b) Différentiel de disponibilité en eau entre les deux modalités :
$FTSW_{RG}$ - $FTSW_{TEM}$

3. Résultats

3.1.Impact d'un enherbement localisé sous le rang sur la dynamique de l'eau dans le sol

3.1.1. Analyse des mesures d'humidité du sol

Détermination des stocks d'eau disponibles pour chacun des systèmes étudiés

Le suivi s'initie avec des TTSW entre 44 et 91 mm (Fig 3.5). Les TTSW des différentes placettes évoluent conjointement : elles connaissent un minimum la deuxième et quatrième année et un maximum la troisième année. La première année, l'augmentation de la TTSW chez le témoin est de 1,7% en moyenne (écart type = 7,4%) et de +25,1% (écart type = 15,7%) pour la modalité enherbée. Sur le reste de la série, la modalité enherbée connait des fluctuations moins fortes d'une année sur l'autre que le témoin. En définitive, l'augmentation entre 2010 et 2015 est de 34,3% (écart-type = 14,6%) pour la modalité témoin, elle est de 17,1% (écart-type de 27,0%) pour le témoin.

Mesures de la FTSW

La dynamique de la FTSW est caractérisée par une recharge du sol à l'automne et à l'hiver, qui permet d'atteindre des taux élevés d'eau disponible au début du printemps (FTSW autour de 1) (Figure 3.6). Puis la consommation d'eau par évapotranspiration à partir de début avril jusque la fin de l'été réduit la fraction d'eau transpirable qui atteint des valeurs minimales début juillet (FTSW=0.1). La réserve en eau est ponctuellement rechargée par des orages d'été puis retrouve sa valeur maximale à la fin de l'automne.

Sur les cinq années de mesure, la quantité d'eau disponible par an à la vigne est plus faible pour la modalité enherbée sous le rang de vigne que pour le témoin desherbé. L'assèchement du sol de la modalité enherbée est plus rapide au printemps, et la teneur en eau du sol reste durablement inférieure à celle de la modalité témoin, généralement jusqu'à la fin de l'été. La présence d'un enherbement fait atteindre des niveaux d'assèchements critiques en été (FTSW <0.1). La recharge hivernale est souvent meilleure pour la modalité enherbée, ceci est à mettre en relation avec l'amélioration par un couvert végétal de l'infiltration de l'eau dans le sol. Après l'automne relativement sec de 2013, la recharge hivernale a été faible en 2014, année qui se caractérise par un différentiel marqué entre les deux modalités tout au long de la saison végétative. En revanche, la fin d'année pluvieuse de 2014 a permis une forte recharge hivernale pour les deux modalités et un fort développement du couvert ce qui a intensifié le différentiel à la mi-2015.

Le potentiel de base, indicateur de stress hydrique

Au cours de la saison 2015, les ceps n'ont jamais été en stress hydrique : le potentiel de base ne descend pas au-dessous de -0.3 MPa. L'année ayant été chaude dès le printemps, il est possible que la croissance de la vigne ait été réduite de façon précoce, limitant ainsi son évaporation et donc sa sensibilité au manque d'eau.La différence entre les deux modalités est peu marquée : elle est significativement différente pour une seule date de mesure : le 26 juin, avec un stress hydrique plus fort pour la modalité enherbée. En fin de saison la variabilité des mesures est plus forte pour la modalité enherbée.

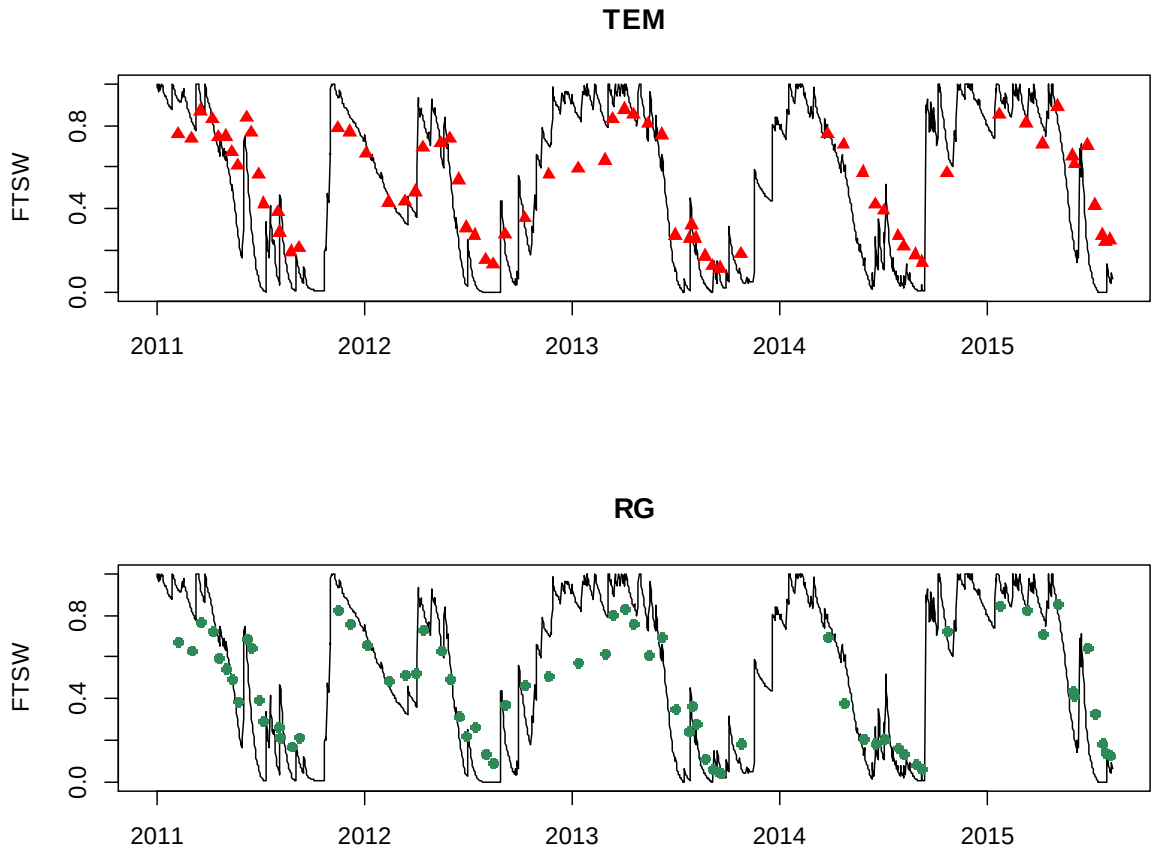


Figure 2.11 : FTSW simulées (—) et observées (Δ : modalité TEM, o : modalité RG) sur la période de 2011 à 2015

3.2.Simulation de la FTSW par le modèle WaLIS

Pour les deux modalités, la corrélation établie entre la FTSW simulée et observée est hautement significative (TEM : R^2=0,81 ; RG : R^2 =0,71). Globalement la contrainte hydrique subie par la vigne est légèrement sous-estimée par le modèle (biais TEM=-0,06 ; biais RG=-0,07). L'efficience du modèle est moyenne pour les deux situations (efficience TEM=0,49 ; efficience RG =0,45) et de gros écarts apparaissent pour certains points (Figure 3.7). Les écarts simulations-observations vont globalement dans le même sens pour les deux modalités étudiées : le modèle surestime la recharge automnale et surestime le stress hydrique en été. Les FTSW estivales sont donc mieux prévues pour la modalité enherbée qui connait des stress plus importants du fait de la consommation d'eau par le couvert.

4. Discussion - Conclusion

L'étude a montré que la dynamique de l'eau est modifiée par la présence d'un couvert végétal sous le rang. La quantité d'eau totale transpirable est légèrement augmentée dans le cas enherbé, sans doute par la capacité du couvert d'assécher le profil et donc de repousser H_{min}. La réduction de la FTSW par l'enherbement n'est pas forcément accompagnée d'un stress de la vigne dont l'évapotranspiration est rapidement régulée en cas de baisse de la FTSW.

Le modèle du bilan hydrique WaLIS est intéressant pour déterminer les fréquences de stress à partir de séries climatiques. Il permet également de comparer le stress selon le type de conduite de l'enherbement. La simulation est moyennement efficiente dans notre étude, à cause des difficultés à paramétrer le modèle. Le paramétrage du ruissellement, particulièrement délicat a été abordé de façon peu précise, les simulations gagneraient en précision avec une meilleure estimation de ce paramètre. Il est également probable que le modèle surestime l'évaporation du sol nu, ce qui accentue le biais pour la modalité témoin.

Pour conclure, le paramétrage du modèle est délicat : il est difficile d'évaluer le compartiment total exploré par les différents systèmes sans réaliser de profil racinaire et la détermination des TTSW est souvent malaisée. Il reste donc un outil pour chercheurs disposant de beaucoup de données sur les conditions pédoclimatiques et l'entretien de l'enherbement.

CHAPITRE IV- Compétition pour la lumière : analyse du rayonnement reçu par un couvert enherbé selon sa position dans l'inter-rang

1. Introduction

La consommation en eau d'un couvert végétal est majoritairement liée à sa transpiration, qui est le moteur principal de la circulation de la sève brute dans le xylème. L'évaporation est un processus très énergivore. Cette énergie est empruntée au milieu extérieur : en 1956 Penman définit l'ETP comme « l'évaporation d'une pelouse rase suffisamment étendue, en bon état et convenablement alimentée en eau ». L'énergie provient du rayonnement net qui atteint le couvert (c'est la composante verticale de l'ETP) et de la température, l'humidité des masses d'air, la vitesse du vent (composante horizontale de l'ETP). Dans le système vigne-enherbement étudié, la consommation en eau de l'enherbement est donc directement liée au rayonnement solaire qu'il reçoit. Or le mode de conduite de la vigne mène à la formation de plans verticaux de végétation qui interceptent préférentiellement le rayonnement par rapport à l'enherbement. Un couvert enherbé ne recevra donc potentiellement pas la même énergie selon qu'il est localisé au pied de la vigne ou au milieu de l'inter-rang. Dans le contexte climatique méditerranéen, un bon couvert est un couvert qui consomme peu d'eau. Nous nous sommes intéressés ici à chercher la position dans l'inter-rang qui minimise le rayonnement reçu et *a priori* la consommation en eau d'un couvert. Dans ce but, des mesures de rayonnement net ont été réalisées au sol à différentes positions par rapport au rang de vigne. L'énergie solaire reçue pour une position donnée dépend aussi du jour et de l'heure, ainsi que de la localisation de la parcelle (qui définissent la position du soleil dans le ciel), de l'orientation des rangs et de leur surface foliaire. Le recours à la modélisation est alors intéressant pour reconstituer l'historique en cours de saison et évaluer différentes configurations de vignobles. Un modèle simulant le bilan radiatif de l'inter-rang d'une vigne palissée (Pieri, 2010) a été utilisé. A partir de la transcription du modèle en langage R par X. Delpuech (Institut Français de la Vigne et du Vin) en 2015, nous nous sommes attachés ici à modéliser pour une position donnée de l'inter-rang la quantité d'énergie reçue. Ce modèle permettra alors de comparer dans un second temps l'ensoleillement reçu au cours de la saison par un point selon sa position dans l'inter-rang, dans la perspective d'évaluer l'ensoleillement reçu par un enherbement et *in fine*, sa consommation en eau.

2. Matériel et méthodes

2.1.Conditions expérimentales

L'expérimentation est menée sur la parcelle de collection du domaine de l'IFV de Nîmes (43°49'43.1"N 4°26'32.3"E). Il s'agit d'une vigne palissée de cépage Syrah, taillée en double cordon de royat, avec un écartement de deux mètres entre les rangs, orientés Nord-Sud.

2.2.Détermination du rayonnement reçu au sol

2.2.1. Mesure du rayonnement reçu au sol

Deux pyranomètres (P1 et P2) de type capteurs Solar Radiation Sensor 6450 de Davis Instruments reliés à un enregistreur de données horodatées (programmé pour un enregistrement toutes les cinq minutes) sont placés dans la parcelle. Ils mesurent respectivement R_G le rayonnement global arrivant sur la vigne et R_{ns} le rayonnement net

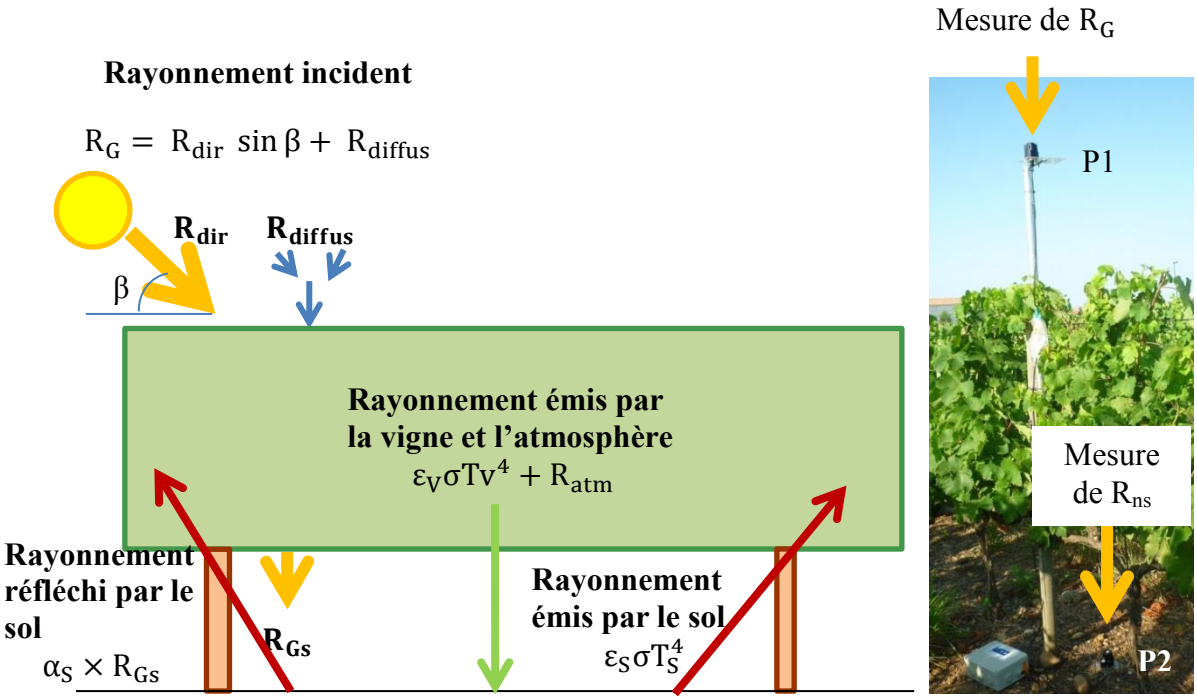


Figure 4.1 : Bilan radiatif au sol dans l'inter-rang, d'après Pieri (2010)
P1 et P2 : pyranomètre 1 qui mesure R_G le rayonnement global arrivant sur la vigne et pyranomètre 2 qui mesure R_{ns} le rayonnement net au sol
Rayonnement incident : R_G : le rayonnement global, R_{dir} : le rayonnement direct, R_{diffus} : le rayonnement diffus, **β** : angle d'élévation solaire
Rayonnement émis : R_{atm} : le rayonnement atmosphérique, σ : la constante de Boltzman, ε_V et ε_S : les émissivités de la vigne et du sol, T_V et T_S : les températures de la vigne et du sol
Rayonnement réfléchi : R_{Gs} : le rayonnement global arrivant au sol, αS : l'albédo du sol. (Le rayonnement réfléchi par la vigne est ici négligé)

arrivant au sol. Pour se faire, P1 est placé à deux mètres de hauteur au-dessus du rang de vigne, tandis que P2 est placé au niveau du sol (Figure 4.1). P2 est déplacé quotidiennement pour obtenir des mesures de R_{ns} à différentes positions de l'inter-rang.

Deux séries de mesure ont été réalisées en juin et juillet, au cours de journées sans nuages. Pour chacune des séries de mesure, quatre positions de l'inter-rang ont été étudiées : x=0 m (directement sous le rang de vigne), x=0,33 m, x=0,66 m et x=1 m (au milieu de l'inter-rang).

2.2.2. Modélisation du rayonnement reçu au sol

Le modèle utilisé est celui décrit par P. Pieri en 2010. Il permet d'estimer le rayonnement net reçu par un point au sol dans une vigne palissée. Ce modèle tient compte de la position du soleil dans le ciel, c'est pourquoi il faut renseigner la longitude, la latitude et le jour de l'année en entrée. Les valeurs des paramètres d'entrée utilisés sont présentées en Annexe V.

2.2.2.1.Bilan radiatif au niveau de l'inter-rang

La radiation nette arrivant à la surface du sol dans l'inter-rang (R_{ns} en $W.m^{-2}$) est divisée en quatre composantes :

$$R_{ns} = R_S\downarrow - R_S\uparrow + R_L\downarrow - R_L\uparrow$$

où $R_S\uparrow$ et $R_S\downarrow$ sont les rayonnements d'ondes courtes (produits par un corps chaud comme le soleil) ascendants et descendants, et $R_L\uparrow$ et $R_L\downarrow$ les rayonnements d'onde longues (produits par un corps froid tel que la vigne ou le sol) ascendants et descendants. Le modèle néglige la réflexion des ondes courtes par la vigne, le rayonnement d'ondes courtes peut donc être écrit :

$$R_S\downarrow - R_S\uparrow = (1-\alpha_s)(R_{diffus} + \delta(x)(R_G - R_{diffus}))$$

où R_G et R_{diffus} sont respectivement le rayonnement global et le rayonnement diffus. $\delta(x)$ est le caractère ombragé ($\delta(x)=0$) ou au soleil direct ($\delta(x)=1$) d'un point au sol, à une distance x du rang de vigne. α_S est l'albédo du soleil.Les rayonnements d'ondes longues descendantes sont émises à la fois par la vigne et par l'atmosphère et peuvent s'écrire :

$$R_L\downarrow = \varepsilon_v\sigma T_v^4 + R_{atm}$$

où ε_v est l'émissivité de la surface des feuilles de vigne, T_v la température des feuilles (K), σ la constante de Stephan-Boltzmann (5.67×10^{-8} $W.m^{-2}.K^{-4}$) et R_{atm} le rayonnement atmosphérique d'onde longue. Les rayonnements ascendants d'onde longue sont composés des rayonnements d'ondes longues réfléchis par le sol et des rayonnements d'onde longue émis par le sol :

$$R_L\uparrow = (1-\varepsilon_S)(\varepsilon_v\sigma T_v^4 + R_{atm}) + \varepsilon_S\sigma T_S^4$$

Le bilan radiatif au niveau de l'inter-rang peut donc s'écrire :

$$\mathbf{R_{ns(x)} = (1-\alpha_s)(R_{diffus} + \delta(x)(R_G - R_{diffus})) + \varepsilon_S(\varepsilon_v\sigma T_v^4 + R_{atm} - \sigma T_S^4)}$$

La valeur de $\delta(x)$ est estimée par une sous partie du modèle de Pieri qui prévoit pour un point x de l'inter-rang s'il est à l'ombre ou au soleil direct (Annexe IV).

2.2.2.2.Conditions utilisées pour les simulations

Le tableau 4.1 regroupe les valeurs des paramètres utilisés. Quatre orientations des rangs sont testées : N-S (0°), NE-SW (45°), E-W (90°) et NW-SE (-45°). Pour chaque orientation des rangs, le rayonnement reçu au sol est simulé pour quatre positions dans l'inter-rang : x=0

Tableau 4.1 : Paramètres utilisés pour les simulations de bilan radiatif par le modèle de Pieri

	Paramètre	Valeur utilisée
Géométrie de la vigne (valeurs mesurées sur la parcelle)	Distance entre les rangs	2 m
	Hauteur de bas de feuillage	0,7 m
	Hauteur de haut de feuillage	0,9 m
	Largeur de feuillage	0,4 m
	Porosité	0,5
Localisation	Coordonnées GPS	43°49'43.1"N 4°26'32.3"E
Emissivité	ε_V	0.99
	T_v	293 K

Tableau 4.2 : Valeurs utilisées des paramètres du modèle de Monteith
Les valeurs annotées d'une étoile sont considérées constantes pour toutes les espèces

Coefficient	Valeur pour la Fétuque	Référence bibliographique
C : énergie calorifique de la biomasse	17 $MJ.kg^{-1}$ *	Monteith, 1972
ε_c : efficience de captation	0,48 *	Varlet-Grancher, 1982
ε_{amax} : efficience d'absorption maximale	0,95	Ghiloufi et al., 2010
ε_b : efficience d'utilisation	1,89	Gosse et al., 1986
k : coefficient d'extinction du couvert	0,47	Moulia, 1986

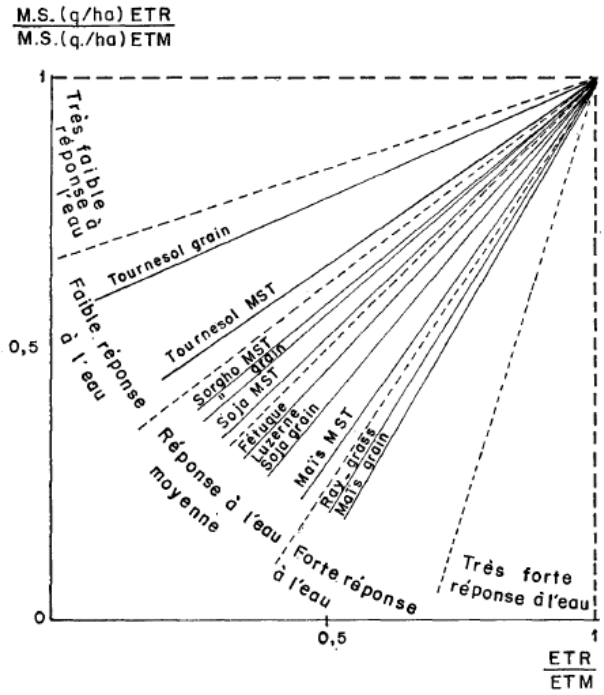


Figure 4.2 : Réponse à l'eau de différentes espèces (d'après Marty et al., 1977)

m (directement sous le rang de vigne), x=0.33 m et x= 0.66 m et x=1 m (au milieu de l'inter-rang).

2.3.Estimation de la consommation en eau de l'enherbement en fonction de sa position dans l'inter-rang

Le modèle de Pieri permet d'obtenir des valeurs de rayonnement net reçu au sol. Ces simulations sont utilisées comme paramètres d'entrée du modèle de Monteith qui donne une estimation de la biomasse produite en fonction du rayonnement reçu. Enfin, la production de biomasse par le couvert est utilisée pour estimer sa consommation en eau.

2.3.1 Équation de Monteith de production de biomasse

Le couvert végétal est capable d'utiliser une partie seulement du rayonnement qu'il reçoit pour réaliser la photosynthèse : c'est le PAR ou Photosynthetically Active Radiation. Le PAR correspond aux rayonnements compris dans la bande spectrale 400-700 nm (Bonhomme et al, 1977). En termes d'énergie, le PAR représente environ 48% de l'éclairement énergétique fourni par le rayonnement solaire global (Varlet-Grancher et al., 1982). En 1977, Monteith décompose l'efficience de conversion de l'énergie solaire en biomasse par un peuplement végétal :

$$\mathrm{C.dMS} = \left(\frac{\mathrm{C.dMS}}{\mathrm{PAR_a}}\right)\left(\frac{\mathrm{PAR_a}}{\mathrm{PAR_i}}\right)\left(\frac{\mathrm{PAR_i}}{\mathrm{R_G}}\right)\mathrm{R_G}$$
$$= \quad \varepsilon_b \times \varepsilon_a \times 0{,}48 \times \mathrm{R_G}$$

C : l'énergie calorifique de la biomasse
dMS : l'accroissement de biomasse produite pendant une période *dt*
R_G : le rayonnement global incident durant cette période *dt*
ε_b : efficience (biologique) de la transformation en biomasse du PAR absorbé (PAR_a) par la culture. Elle dépend de la photosynthèse et de la respiration de la culture.
ε_a : efficience d'absorption du PAR incident (PAR_i) par la culture. Elle varie fortement avec l'indice foliaire de la culture. $\varepsilon_a = \varepsilon_{amax} \times (1 - e^{-k \times LAI})$ où LAI : indice foliaire et k : coefficient d'extinction du couvert

Paramétrage de l'équation de Monteith

Les coefficients utilisés sont propres à la Fétuque (Tableau 4.2). Les valeurs de référence de la *Festuca arundinacea* ont été utilisées. L'indice foliaire du couvert est estimé via le modèle de bilan hydrique WaLIS dont l'une des sorties est le LAI_h (paramétrage du modèle WaLIS en Annexe III, par défaut le paramétrage est pour un couvert de *Festuca arundinacea*).

2.3.2. Relation entre production de biomasse et consommation en eau d'un couvert

Puech et al, (1974) ont établi une relation entre matière sèche totale produite (MS) et le rapport de consommation en eau $\frac{\text{évapotranspiration réelle (ETR)}}{\text{évapotranspiration maximale (ETM)}}$ d'une espèce donnée :

$$\frac{\mathrm{MS\ (ETR)}}{\mathrm{MS\ (ETM)}} = a\ \frac{\mathrm{ETR}}{\mathrm{ETM}} + b$$

Tableau 4.3 : Rayonnements mesurés au sol selon la distance au rang de vigne

Date	Position (m)	R_{ns} journalier (kW.h)	R_G journalier (kW.h)	R_{ns}/R_G (%)	R_{ns} max (W.m-2)	R_G max (W.m-2)
9-juin	0	30,9	40,1	77	974	1014
11-juin	0,33	32,1	40,4	80	977	1020
17-juin	0,66	31,8	40,0	80	1004	1020
18-juin	1	29,8	39,6	75	900	865
21-juil.	0	30,2	39,5	76	904	872
22-juil.	0,33	30,9	40,5	76	898	862
23-juil.	0,66	30,8	40,5	76	1030	1049
24-juil.	1	31,5	40,1	78	1005	1032

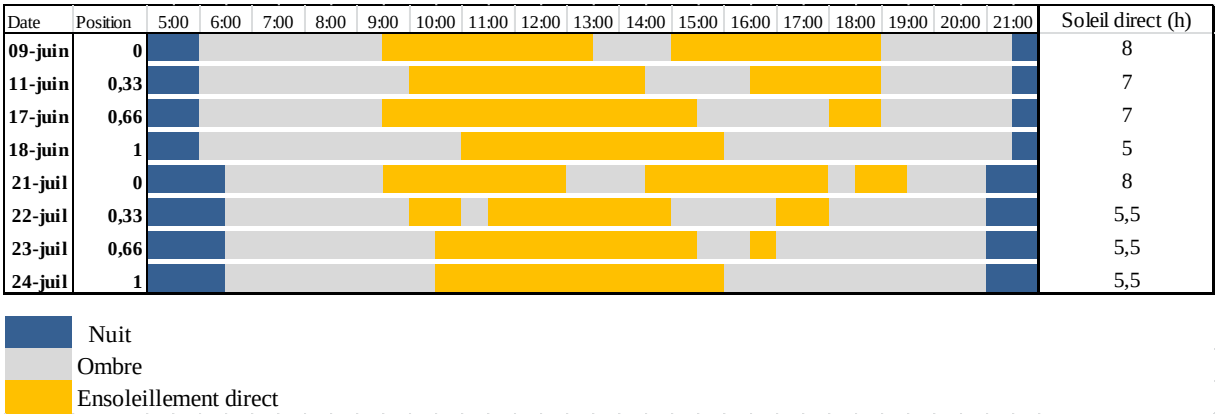


Figure 4.3 : Caractère ombragé ou au soleil direct du capteur au sol

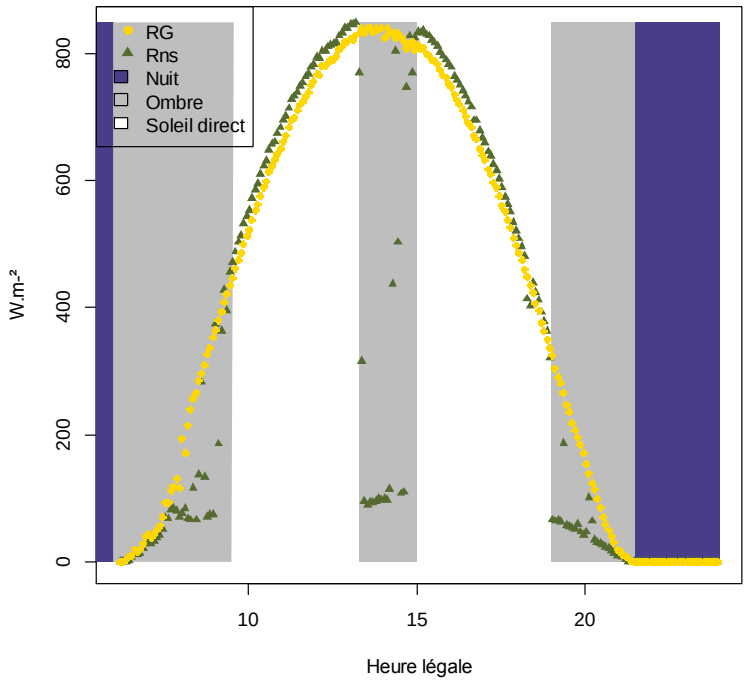


Figure 4.4 : Mesure du rayonnement global arrivant sur la vigne et du rayonnement net arrivant au sol sous le rang de vigne (x=0), le 09/06/2015

MS : matière sèche produite, MS (ETR) est mesurée en situation réelle, tandis que MS (ETM) est la quantité maximale de matière sèche produite en situation d'eau non limitante.
ETR : évapotranspiration réelle, ETM : évapotranspiration maximale (évapotranspiration en situation d'eau non limitante)
a et b sont des coefficients propres à chaque espèce

Les espèces qui ont une forte réponse à l'eau ne produisent de la biomasse que dans les situations de stress hydrique très modéré (Figure 4.3). Les espèces qui au contraire, ont une faible réponse à l'eau connaissent une faible diminution de la quantité de matière sèche produite, même en cas de stress hydrique sévère. La Fétuque a une réponse moyenne à l'eau : d'après les travaux de Puech et al., (1974) la droite de réponse à l'eau de la Fétuque est quasiment confondue à la bissectrice. En conséquence, 10% de biomasse produite en plus équivaut à 10% d'eau consommés supplémentaires.

3. Résultats

3.1.Analyse des rayonnements mesurés au sol

3.1.1. Rayonnement global et rayonnement net au sol

La première série de mesures réalisée mi-juin présente quatre journées ensoleillées avec un R_G maximum moyen de 979 $W.m^{-2}$ (écart-type de 77 $W.m^{-2}$), le 18 juin étant légèrement voilé (Tableau 4.3). Le R_G maximum de la seconde série de mesure est de 953 $W.m^{-2}$ (écart-type de 100 $W.m^{-2}$), les 21 et 22 juillet étant moins ensoleillés. Le sol reçoit un R_{ns} maximum inférieur à R_G max pour les journées de plein soleil (95%) et supérieur à R_G max pour les journées relativement moins ensoleillées (104%) (Figure 4.5). Ceci s'explique par le fait que quand R_G diminue, la part des rayonnements émis par la vigne et l'atmosphère de R_{ns} augmente. Pour l'ensemble des mesures, le rapport de R_{ns} journalier sur R_G journalier est peu variable : il vaut 77% en moyenne, avec un écart-type de 2%. Ainsi pour le vignoble étudié, le rayonnement net journalier reçu au sol est faiblement influencé par la position dans l'inter-rang.

3.1.2. Des conditions d'éclairement variables selon la position au sol

Selon la position dans l'inter-rang, le sol connait des périodes d'ensoleillement direct différentes dans la journée (Figure 4.4). Directement sous le rang (x=0), le sol connait deux périodes d'ensoleillement direct qui encadrent le midi solaire (14 heures, heure légale). Pour les positions intermédiaires, les périodes d'ombre sont décalées plus tardivement dans l'après-midi. Au milieu de l'inter-rang, le sol connait une seule période d'ensoleillement direct, qui comprend le midi solaire. Pour les deux séries de mesures, la localisation directement sous le rang est celle qui a le temps d'ensoleillement direct le plus long. Les deux positions intermédiaires sont équivalentes, et le milieu de l'inter-rang à un temps d'ensoleillement direct inférieur à celui des positions intermédiaire pour la série de juin. Globalement les temps d'expositions sont plus longs en juin qu'en juillet du fait que le soleil est plus haut dans le ciel.

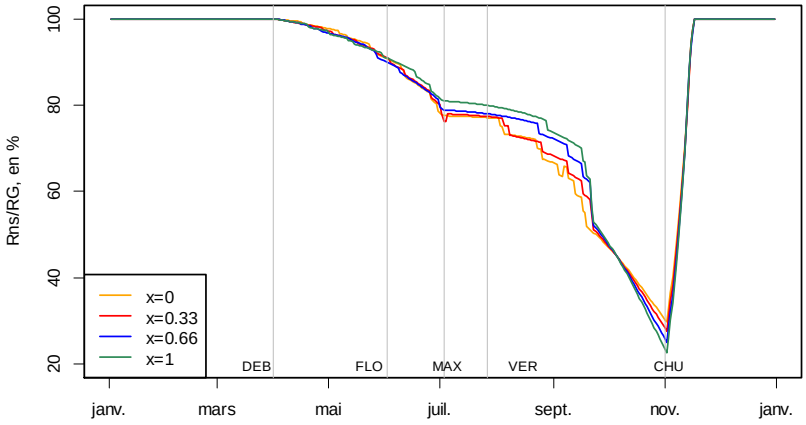


Figure 3.5 : Simulations de la part du rayonnement global reçue au sol dans l'inter-rang, pour une orientation Nord Sud des rangs.
x=0 : sous le rang,x=0.33 et x=0.66 : positions intermédiaires, x=1 : milieu de l'inter-rang
Les principaux stades sont repérés, DEB : débourrement, FLO : floraison, MAX : kmax atteint, VER : véraison, CHU : chute des feuilles

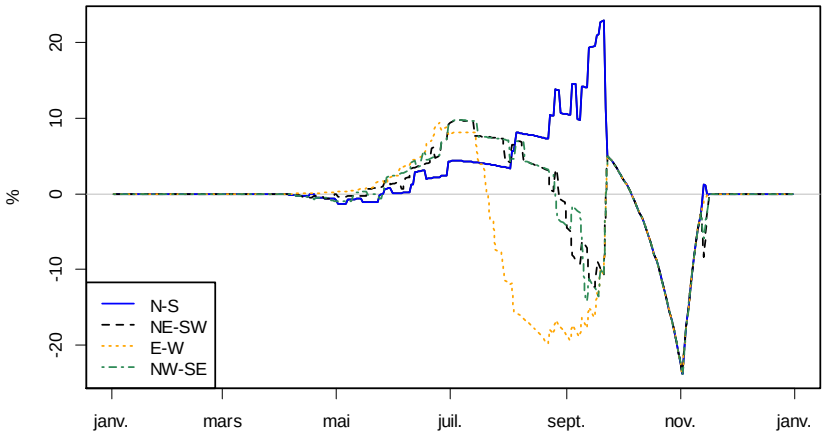


Figure 3.6 : Simulations de la différence de R_{ns} reçu entre le milieu de l'inter-rang et la zone directement sous le rang de vigne selon l'orientation des rangs
$\frac{100\times(R_{ns\,(x=1)}-R_{ns(x=0)})}{R_{ns(x=0)}}$

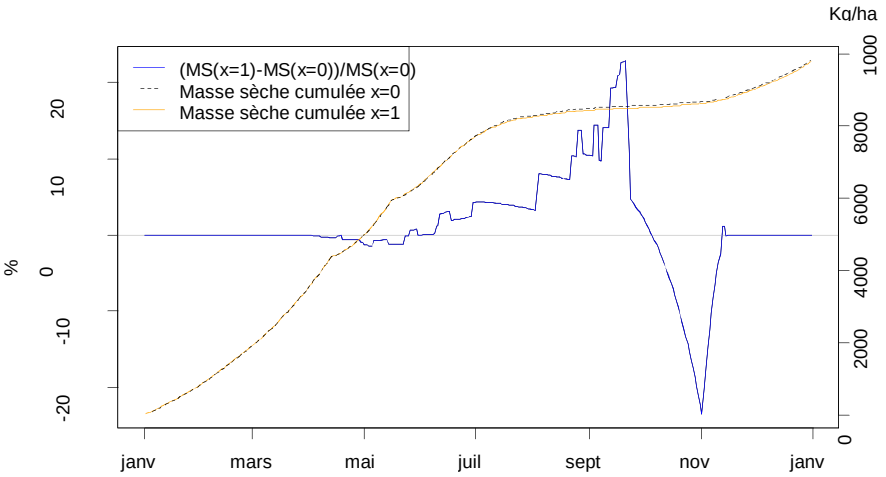


Figure 3.7 : Simulations de la production de masse sèche par un enherbement de Fétuque rouge pour une vigne orientée Nord-Sud
x=0 : directement sous le rang de vigne, x=1 : au milieu de l'inter-rang

3.2.Simulation par le modèle de Pieri du rayonnement reçu par un point selon sa position dans l'inter-rang

Quelle que soit l'orientation des rangs, la dynamique d'interception du rayonnement global par la vigne est la même : elle s'initie au débourrement avec l'apparition des premières feuilles et augmente fortement jusqu'à début juillet où la vigne atteint son coefficient cultural maximum (R_{ns}=80% de R_G) (Figure 4.6). A partir de cette date, l'interception continue d'augmenter, du fait de la position de moins en moins haute du soleil dans le ciel (plus les rayons du soleil arrivent horizontalement à la surface du sol, plus ils sont interceptés facilement par les plans verticaux que forme la vigne), jusqu'à atteindre début novembre un minimum de rayonnement net au sol dans l'inter-rang (R_{ns}=25% de R_G). Après la chute des feuilles, l'interception est nulle.

La différence de rayonnement net reçu au sol entre les différentes localisations dans l'inter-rang varie selon l'orientation des rangs mais est toujours maximale entre le milieu de l'inter-rang et la zone directement sous le rang. C'est entre juillet et octobre que cette différence est la plus marquée selon l'orientation des rangs (Figure 4.7). En début de saison, le R_{ns} reçu au milieu de l'inter-rang ($R_{ns(x=1)}$) est supérieur à celui reçu sous le rang ($R_{ns(x=0)}$), jusqu'à atteindre un différentiel de 10% début juillet. A partir de cette date la tendance s'inverse, et la zone sous le rang reçoit de plus en plus de rayonnement en comparaison avec le milieu de l'inter-rang. L'orientation Est-Ouest se détache des trois autres avec un ensoleillement privilégié de la zone sous le rang dès fin juillet alors que pour les autres orientations $R_{ns(x=0)}$ ne dépasse $R_{ns(x=1)}$ qu'à partir de septembre. Dans tous les cas, la période de croissance de l'enherbement (de février à fin juin) est caractérisée par une différence de rayonnement reçu journalier selon la position comprise entre 0 et 10%. Quelles sont les conséquences en termes de consommation d'eau d'une telle différence de rayonnement reçu?

3.3.Influence de la position de l'enherbement dans l'inter-rang sur sa consommation en eau

Les simulations de production de biomasse à partir du rayonnement reçu prévoient une production par la Fétuque rouge de 11,2 $T.ha^{-1}.an^{-1}$ de matière sèche en moyenne sur la période 2011-2014 (écart-type de 0,8 $T.ha^{-1}$) (Figure 4.8). La production est principalement concentrée sur les six premiers mois de l'année : 1,3 $T.ha^{-1}.mois^{-1}$ entre janvier et juillet contre +0,5 $T.ha^{-1}.mois^{-1}$ entre août et décembre où la croissance est ralentie.

La différence de production entre localisations au sol est quant à elle maximale à partir d'août. En effet, pendant le premier semestre, un enherbement situé au milieu de l'inter-rang produit plus de matière sèche qu'un enherbement sous le rang, mais la différence ne supère pas les 10%. A partir d'aout un enherbement sous le rang produit jusqu'à 20% de plus de biomasse qu'un enherbement au milieu de l'inter-rang. Il y a donc deux périodes à différencier dans l'année : le premier semestre où le couvert produit activement de la biomasse mais où la différence de rayonnement reçu entre les positions dans l'inter-rang est trop faible pour avoir un impact la différence de production, et le seconde semestre où le différentiel de rayonnement reçu est important selon la position mais a un impact faible vu le niveau de production de biomasse. En conclusion, la production de biomasse et donc la consommation en eau d'un enherbement n'est pas impactée par sa localisation dans l'inter-rang.

4. Discussion - Conclusion

L'étude a montré que la position dans l'inter-rang n'influence pas la consommation en eau d'un couvert de Fétuque en région méditerranéenne, pour une parcelle sans pente. En effet, la différence de rayonnement reçu est ténue à l'époque de croissance du couvert. L'orientation Nord-Sud des rangs est celle qui minimise la différence de rayonnement reçu entre le milieu de l'inter-rang et la zone sous le rang de vigne pendant la période de développement du couvert. Pour les autres orientations, le différentiel étant plus marqué, une espèce ayant des efficiences d'utilisations du rayonnement plus élevées aurait probablement un différentiel de production de biomasse entre le milieu du rang et la zone sous le rang plus marqué. La réponse à l'eau est un critère déterminant pour le choix des espèces à implanter en couvert : il faut privilégier des espèces à faible réponse à l'eau pour que la différence potentielle de masse sèche produite impacte peu la consommation en eau. Il serait intéressant d'étendre les simulations à des parcelles en dévers pour étudier la différence potentielle de rayonnement net au sol en fonction de la distance au rang de vigne.

Conclusion

- Principaux acquis de l'étude

L'implantation d'un enherbement au sein du vignoble modifie profondément le fonctionnement hydrique du vignoble. Le rendement est diminué les premières années puis tend à se stabiliser : en présence d'un enherbement, la vigne approfondit la zone explorée (Morlat et Jacquet, 2003) et limite ainsi les conséquences de la compétition pour l'eau. C'est pourquoi un couvert doit être raisonné sur plusieurs années. L'amélioration de l'infiltration par l'enherbement est un facteur qui limite les effets de la concurrence hydrique. Pour compenser la compétition en nutriments azotés, une espèce capable de fixer symbiotiquement le diazote atmosphérique peut être choisie, ce qui limite la perte de vigueur par rapport à un enherbement « classique » de type Poacées. En termes de rayonnement solaire, la quantité d'énergie reçue au sol est très peu dépendante de la distance au rang, la quantité d'eau consommée par un couvert ne dépend donc pas de sa zone d'implantation dans l'inter-rang.

- Quel idéotype d'enherbement pour la région méditerranéenne ?

L'enherbement semé permanent présente l'avantage de couvrir le sol pendant l'hiver, période sensible au ruissellement et à l'érosion. Par rapport à un enherbement non permanent il présente des coûts d'implantation réduits puisqu'il n'est pas nécessaire de ressemer une année sur l'autre. Il est plus facilement pilotable qu'un enherbement naturel dont le niveau de concurrence est difficile de prévoir étant donné sa forte dépendance à la flore autochtone. La Fétuque rouge présente des taux de couverture satisfaisants et une hauteur réduite, son cycle de développement est décalé par rapport à la vigne. D'autres espèces peuvent être testées quant à leur exigence en eau.

Si les bienfaits environnementaux et la compétitivité relativement peu marquée de l'enherbement sous le rang en font une pratique alternative intéressante, sa mise en place au niveau de la parcelle voire de l'exploitation est aujourd'hui difficile et peu documentée. A l'échelle de la placette expérimentale, le semis et la tonte étaient réalisées manuellement, un passage à la mécanisation est nécessaire pour faire adopter cette pratique. Il n'existe pas de semoir sous le rang à ce jour, même si des références sont en cours d'acquisition. La tonte peut quant-à elle être réalisée avec des outils inter-ceps. Les viticulteurs en agriculture biologique sont avantagés par le fait qu'ils sont habitués à utiliser ce type d'outils. Une autre contrainte, est l'interaction avec d'autres opérations : en début de saison les fils releveurs au sol empêchent la tonte, et en viticulture conventionnelle, l'épamprage chimique détruirait le couvert. Au niveau économique, la tonte étant plus longue que le désherbage chimique, cela représente un coût supplémentaire, qui s'ajoute à l'investissement dans de la machinerie adaptée. Les viticulteurs en agriculture biologique ayant déjà des temps de travaux d'entretien du sol plus long, l'acceptabilité économique de cette pratique est plus grande.

En définitive une analyse tecnico-économique est nécessaire pour étudier la faisabilité et durabilité économique de l'enherbement sous le rang.

Bibliographie

Altieri M. A. (1995) Agroecology: the science of sustainable agriculture. xii + 433 p.

Amengual, A., R. Romero, M. Gómez, A. Martín, and S. Alonso (2007). A hydro-meteorological modeling study of a flash flood event over Catalonia, Spain. *J. Hydrometeorol*., 8, 282-303.

Bonhomme R. et Varlet-Grancher C. (1977), Application aux couverts végétaux des lois de rayonnement en milieu diffusant. I. Établissement des lois et vérifications expérimentales, *Ann. agron*., 28 : 567-582.

Celette F. (2007). Dynamique des fonctionnements hydrique et azoté dans une vigne enherbée sous le climat méditerranéen. Thèse de doctorat, Montpellier SupAgro

Champagnol F. (1984). Eléments de physiologie de la vigne et de viticulture générale. 351 p.

Chantelot E., Celette F., Wery J. (2004). Concurrence pour les ressources hydriques et azotées entre vigne et enherbement en milieu méditerranéen. Symposium « Quality management and viticulture », Stutgart, 10-11mai 2004, H.R. Schultz ed., p.171-184, 2004.

Delpuech et al. (2014). De nouvelles espèces pour l'enherbement des vignes en région méditerranéenne : quels compromis entre pérennité et concurrence pour les ressources? *Cahier Scientifique*, p.32-39.

Delpuech X. (2009). Réussir un bon enherbement. *Le vigneron des Côtes du Rhône et du Sud-Est*, Hors série Octobre 2009, p.18-20.

Dion R. (1993). Histoire de la Vigne et du Vin en France, des origines au XIXe siècle. Flammarion. 768 p.

Gary C., Celette F. (2009). Enherbement et stress hydro-azoté. Colloque Pulvérisation et Entretien du sol en Viticulture durable, Toulouse, 11 décembre 2009.

Gaudel M. (2002). Enquête sur les pratiques d'enherbement des viticulteurs adhérents à la charte Terra Vitis en Languedoc-Roussillon. MSc Thesis. ENSAM-UM1, Montpellier, 38 p

Gaviglio C., Gontier L. (2013). Conduite de la vigne sans herbicide : des résultats agronomiques en micro-parcelles au transfert à grande échelle, une remise en question de l'organisation du travail. Conférence du Columa, AFPP, Dijon, 10-12 décembre 2013

Ghiloufi M., Picard D., Saulas P., Tourdonnet S. (2010), Y a-t-il un intérêt agronomique à associer une culture commerciale et une plante de couverture ? *Cahiers Agricultures*, vol 19.

Goma-Fortin N. (2002). L'engazonnement permanent des vignes : Une démarche nouvelle en vignoble méditerranéen aux multiples avantages. In Trajectoires. *Références techniques viticoles*. 6 p.

Gosse et al. (1986). Production maximale de matière sèche et rayonnement solaire intercepté par un couvert végétal. *Agronomie*, EDP Sciences, 6 (1), 47-56.

Marty J. R., Bosc N., Hilaire A. (1977) Production comparée de quelques espèces fourragères en condition irriguée ou non. Efficience et valorisation de l'eau. Coûts de production. *Fourrages*, 70, 91-120.

Matthews M.A., Anderson M.M., Schultz H.R. (1997) Phenologic and growth responses to early and late season water deficits in Cabernet franc. Vitis, 26 p.147-160

Monteith, J. L. (1977). Climate and the efficiency of crop production in Britain. Phil. Trans. R. Soc. London, B, 281, 277-294.

Morlat R., Jacquet A. (1993). The soil effects on the grapevine root system in several vineyards of the Loire valley (France). *Vitis*, 32(1), 35-42.

Morlat R., Jacquet A. (2003). Grapevine Root System and Soil Characteristics in a Vineyard Maintained Long-term with or without Interrow Sward.

Moulia B. (1986). Contribution à l'étude écophysiologique de la fétuque élevée, du trèfle blanc et de leur association. Mémoire. ENITA de Bordeaux

Pellegrino A. (2003). Elaboration d'un outil de diagnostic du stress hydrique utilisable sur la vigne en parcelle agricole par couplage d'un modèle de bilan hydrique et d'indicateurs de fonctionnement de la plante. Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier.

Pellegrino A., Gozé E., Lebon E., Wery J. (2006). A model-based diagnosis tool to evaluate the water stress experienced by grapevine in field sites. *European Journal of Agronomy*, 25, p. 49-59.

Pellegrino A., Lebon E., Voltz M., Wery J. (2004). Relationships between plant and soil water status in vine (Vitis vinifera L.). *Plant and Soil* 266: p. 129–142

Penman H.L. (1948) Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. Proc. R. Soc. London, Ser. A. 193:120-146

Penman, H.L. (1956). Estimating evaporation. Transactions, American Geophysical Union 37: doi: 10.1029/TR037i001p00043. issn: 0002-8606.

Pieri P. (2010). Modelling radiative balance in a row-crop canopy: Cross-row distribution of net radiation at the soil surface and energy available to clusters in a vineyard, *Ecological Modelling* 221, 802-811

Puech J., Maertens C. (1974). Efficience de l'eau consommée de quelques cultures placées dans différentes conditions écologiques. *Agrochimica* 18, 223-230.

Qadir M., Boers T M., Schubert S., Ghafoor A. and Murtaza G (2003) Agricultural water management in water-starved countries : challenges and opportunities. *Agricultural Water Management*, 62(3), 165-185.

Rodriguez-Lovelle B., Trambouze W., Jacquet O. (2009). Evaluation de l'état de croissance végétative de la vigne par la "méthode des apex". *Progrès Agricole et Viticole*, 126, n°4, p.77-88, 200

Roux S., Delpuech X., Daudin G., Brun F., Wéry J., Wallach D. (2014). Providing user-oriented uncertainty information with a vineyard model used for irrigation decisions. In: Lajpat R. Ahuja, Liwang Ma, Robert J. Lascano, dir., Practical applications of agricultural system models to optimize the use of limited water . Advances in agricultural systems modeling 5 (p. 183-208).

Seguin G. (1983) Influence des terroirs viticoles sur la constitution de la qualité des vendanges. *Bulletin de l'OIV*: 56, 3-18.

Spring J-L. (1999) Indice chlorophyllien du feuillage et nutrition azotée du cépage Chasselas. Premières expériences en Suisse romande. Rev. Suisse Vitic., Arboric, Hortic., 31, n°3, 141-145

Tregoat O., Van Leeuwen C., Choné X., Gaudillère J.P. (2002) Etude du régime hydrique et de la nutrition azotée de la vigne par des indicateurs physiologiques. Influence sur le comportement de la vigne et la maturation du raisin (vitis vinifera L. cv. Merlot)

Varlet-Grancher C. (1982). Analyse du rendement de la conversion de l'énergie solaire par un couvert végétal. Thèse Doct. Ès Sci. Nat., Univ. Paris-Sud, Orsay, 144 p.

Wery J. (2005). Differential effects of soil water deficit on the basic plant functions and their significance to analyse crop response to water deficit in indeterminate plants. *Australian Journal of Agricultural research*, 56, 1201-1209.

Annexes

Annexe I : Stades phénologiques de la vigne ..... a
Annexe II : Résultats du contrôle maturité 2015 ..... d
Annexe III : Paramétrage du modèle Walis ..... e
Annexe IV : Modélisation de l'ombre portée de la vigne dans l'inter-rang (Pieri 2010) ..... f
Annexe V : Paramétrage du modèle Pieri ..... h

Annexe I : Stades phénologiques de la vigne

FICHE PHYTOSANITAIRE

MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DE LA FORET - SERVICES DE LA PROTECTION DES VEGETAUX

STADES REPERES DE LA VIGNE

01 - Repos d'hiver

03 - Bourgeon dans le coton

05 - Pointe verte de la pousse visible

06 - Eclatement des bourgeons

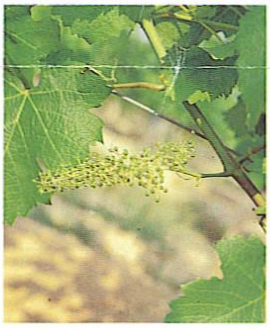
09 - 2 ou 3 feuilles étalées

12 - 5 ou 6 feuilles étalées inflorescences visibles

15 - Boutons floraux encore agglomérés

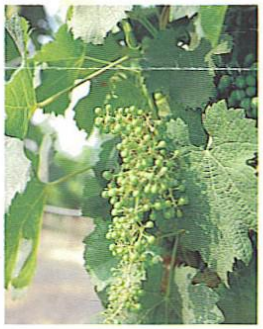
17 - Boutons floraux séparés

23 - Pleine floraison

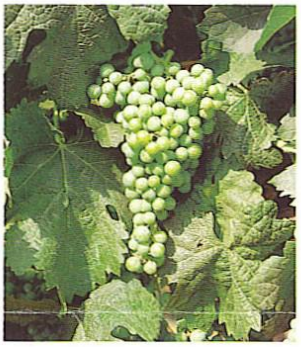


27 - Nouaison

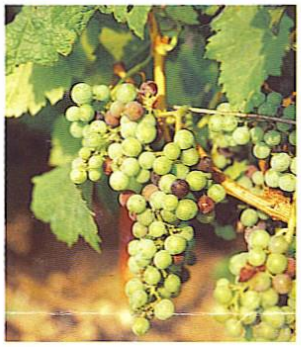
29 - Baies à taille de grains de plomb



31 - Baies à taille de pois



33 - Fermeture de la grappe



35 - Début véraison

37 - Fin véraison

photos - S.R.P.V. Aquitaine

Janvier 1992

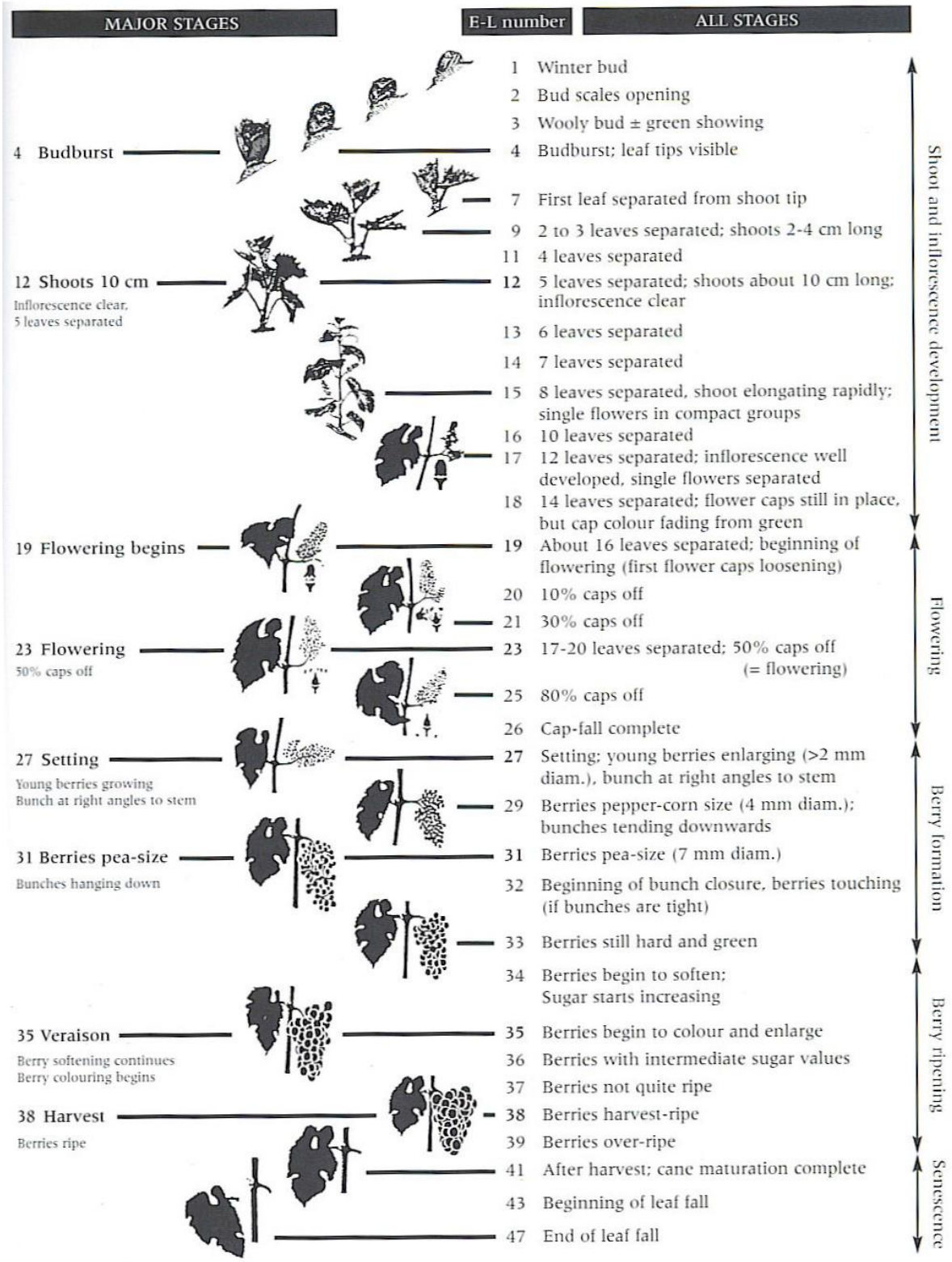


Figure 7.3 Modified E-L system for identifying major and intermediate grapevine growth stages (revised from Coombe 1995). Note that not all varieties show a woolly bud or a green tip stage (May 2000) hence the five budburst stages in the modified original 1995 system have been changed slightly by removing stage 4 and allocating the definition of budburst to what was formerly stage 5.

Figure 1.1 : Echelle d'identification du stade phénologique d'après Eichorn et Lorentz révisée par Coombe (2005).

Stade	Saint-Bénézet	Pastouret
Débourrement	10/04/2015	10/04/2015
Floraison	02/06/2015	27/05/2015
Nouaison	08/06/2015	08/06/2015
Fermeture de la grappe	01/07/2015	07/07/2015
Véraison	25/07/2015	30/07/2015

Figure 1.2 : Stades phénologiques observés sur les parcelles suivies

Annexe II : Résultats du contrôle maturité 2015

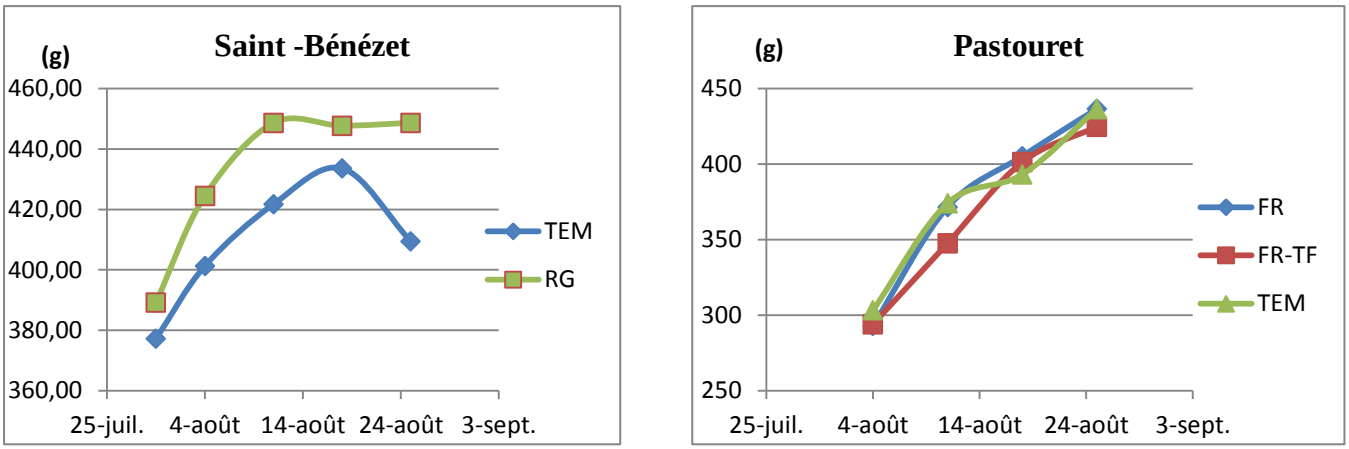


Figure 2.1 : Poids de 200 baies

Saint-Bénézet : RG : modalité avec enherbement sous le rang de Fétuque rouge

Pastouret : FR : modalité avec enherbement sous le rang de Fétuque rouge

FR-TF : modalité avec enherbement sous le rang de Fétuque rouge et Trèfle fraise

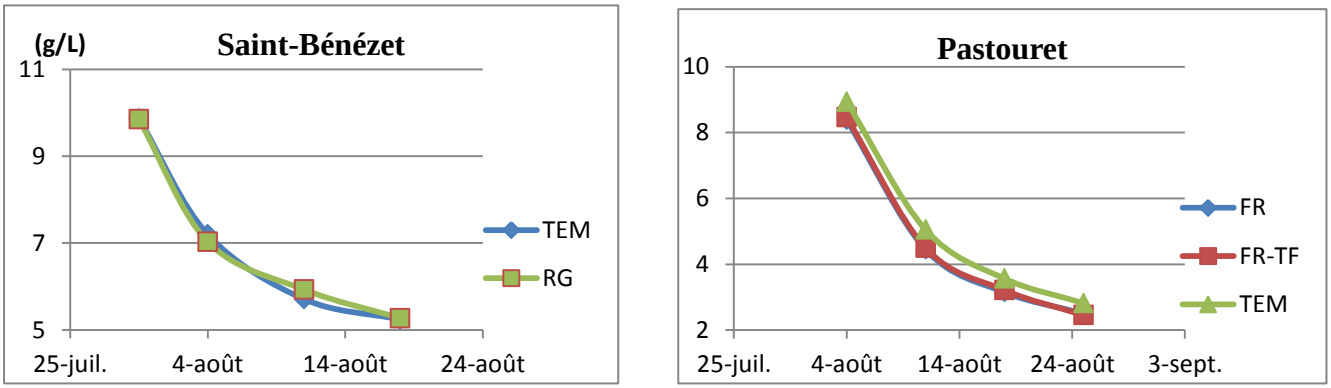


Figure 2.2 : **Acidité totale**

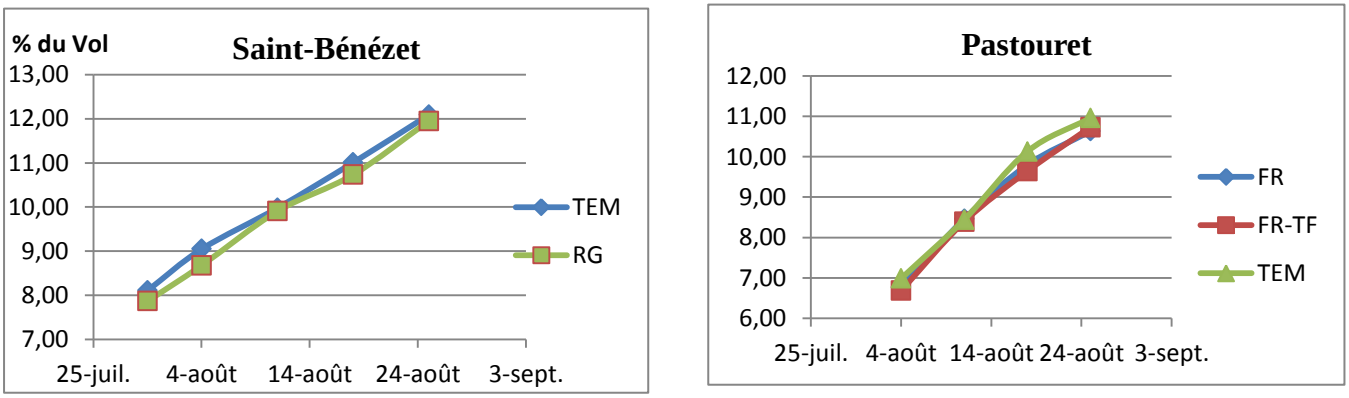


Figure 2.3 : Degré potentiel alcoolique

d

Annexe III : Paramétrage du modèle Walis

Paramètre	Témoin	Enherbé
TTSWh	0	22,8
TTSWv	90	91,2
ASWh	0	22,8
ASWv	114	67,2
CN_Ruiss	83	75
CN_Ruiss2		83
Tonte	N	TRUE
nbtonte		0,0,1,1,1,2,1
dtonte		09/06,"15/05","22/05","04/06","06/08","21/05"
p	0	0,2
dbr	111	111
p_remplissage	0,5	0,5
kmax	0,47	0,39
calcul_kmax	0	0
latitude	43	43
d_rang	2,5	2,5
hfeuillage	1	1
lfeuillage	0,5	0,5
porosite	0,45	0,45
orientation	45	45
pir	0	0
reinit	1	1
ddkmax	600	600
seuilpeff	2	2
LAItonte	3	3
herblairate	0,9	0,9
LAIinit	0,5	0,5
LAIres	0,3	0,3
LLSmin	700	700
INN	0,33	0,33
U	2,7	2,7
b1_evap	14	14
b2_evap	0,15	0,15
FTSWvregulTR	0,6	0,6
FTSWhregultr	0,6	0,6
FTSWhregulLAI	0,9	0,9
irrigation	0	0

Annexe IV : Modélisation de l'ombre portée de la vigne dans l'inter-rang (Pieri 2010)

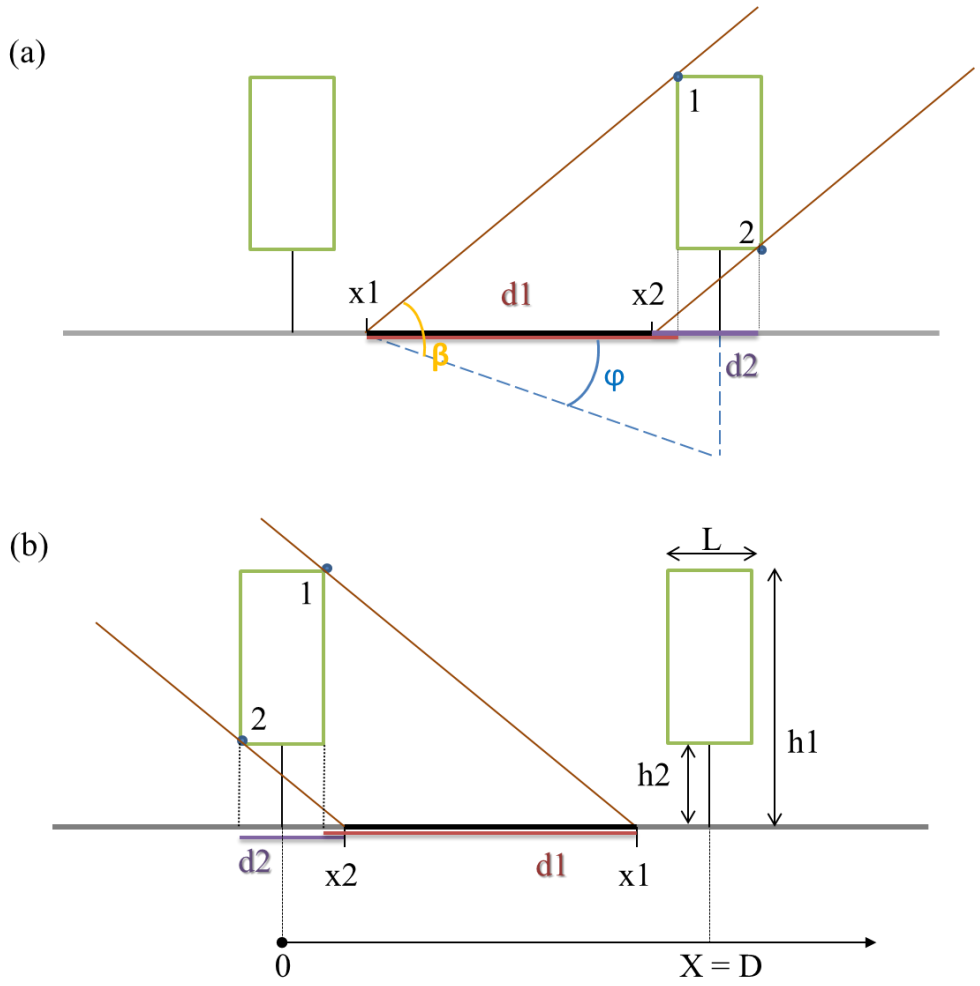


Figure 3.1 : Interception des rayons solaires par la vigne, d'après Pieri, 2010.
(a) Les rayons arrivent par le rang en D
(b) Les rayons arrivent par le rang en 0
Avec L : la largeur de la vigne, h_1 : la hauteur, h_2 : la hauteur de base des feuilles, D : la distance entre les rangs, $\varphi = \varphi_s - \varphi_r$ avec φ_s : l'azimuth du soleil et φ_r : l'azimuth du rang, β : l'angle d'élévation solaire, x_1 (resp. x_2) : la coordonnée dans l'inter-rang du rayon issu du coin supérieur (resp. inférieur) de la vigne, d_1 (resp. d_2) : la distance entre x_1 (resp. x_2) et le côté intérieur (resp. extérieur) de la vigne.

La structure en rangs de la végétation implique qu'une partie du sol peut être à l'ombre alors que le reste est au soleil. Le modèle est basé sur une représentation simple de la géométrie de la vigne : un parallélépipède de longueur infinie (Figure 3). Les coordonnées dans l'inter-rang des limites de l'ombre (notées x_1 et x_2) sont recherchées. La distance d_1 entre le côté intérieur de la vigne et la limite de l'ombre est calculée en considérant un rayon lumineux passant par le coin supérieur de la vigne.

$d_1 = \frac{h_1 \sin\varphi}{\tan\beta}$ et $d_2 = \frac{h_2 \sin\varphi}{\tan\beta}$ Avec d_1 (resp. d_2) : la distance entre x_1 (resp. x_2) et le côté intérieur (resp. extérieur) de la vigne
h_1 : la hauteur totale
h_2 : la hauteur de base des feuilles
$\varphi = \varphi s - \varphi r$ avec φs : l'azimuth du soleil et φr : l'azimuth du rang
β : l'angle d'élévation solaire

Les valeurs d'élévation et d'azimuth solaire sont calculées à partir des valeurs de déclinaison (angle entre la direction du soleil et le plan de l'équateur) et de la latitude. Les coordonnées des limites de l'ombre sont calculées :

$$x_1 = D - \frac{L}{2} - d1 \quad \text{et} \quad x_2 = D + \frac{L}{2} - d_2$$

Avec : x_1 et x_2 : les coordonnées dans l'inter-rang des limites de l'ombre
L : la largeur de la vigne
D : la distance entre les rangs

Ces coordonnées permettent de définir pour un point x de l'inter-rang s'il est à l'ombre $\delta(x)=0$, ou à la lumière $\delta(x)=1$.

Annexe V : Paramétrage du modèle Pieri

Paramètre	**Valeur**
Année	2015
Longitude	-4,44
Latitude	43,83
Distance entre les rangs (m)	2
Hauteur bas de feuillage (m)	0,7
Hauteur max haut de feuillage (m)	1,2
Largeur max (m)	0,4
Porosité minimale	0,45
Date de taille max	01-juil
Date débourrement	01-avr
Orientation rang (°)	0, 45, 90, 135

h

AGRO CAMPUS OUEST	Diplôme : Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, horticoles et du Paysage Spécialité : Spécialisation : Sciences des Productions Végétales Option : Ingénierie des agrosystèmes Responsable d'option : C.Bissuel

Auteur : Irène DULAC Date de naissance : 04/01/1993	Organisme d'accueil : Institut Français de la Vigne et du Vin Adresse : Domaine de Donadille 30230 Rodilhan Maître de stage : X. Delpuech
Nb pages : 26 Annexe : V	
Année de soutenance : 2015	

Titre français : Enherbement du vignoble sous le rang en climat méditerranéen : caractérisation de la compétition pour l'eau et pour la lumière

Titre anglais : Cover cropping under the row of grapevine : investigation on the competition for water and light

Résumé : L'étude a porté sur l'impact d'un enherbement placé sous le rang sur la production de la vigne en région méditerranéenne. Un modèle du bilan-hydrique sur vigne enherbée (modèle WaLIS, Celette, 2010) a permis de mettre en évidence des différences dans la dynamique de l'eau : la recharge hivernale est meilleure pour les vignes enherbées mais la croissance du couvert au printemps réduit la quantité d'eau disponible à la vigne dans sa période de développement. Enfin, la compétition pour la lumière a été étudiée : un modèle d'interception du rayonnement (Pieri, 2010) a permis de simuler le rayonnement net au sol en fonction de la distance au rang de vigne. Le rayonnement net reçu au sol est le même pour l'ensemble de l'inter-rang, la zone d'implantation du couvert n'influe donc pas sur sa consommation en eau.

Abstract : The aim of the study was to evaluate the impact of a cover crop under the row on grapevine production in a Mediterranean climate. A soil water balance model (WaLIS model, Celette, 2010) has revealed differences in water dynamics: in winter the stocks are better filled when cropped, but the cover crop water consumption in spring reduces the water availability during the grapevine development. Lastly light competition was studied: a radiation interception model (Pieri, 2010) was used to simulate net radiation arriving on the floor. The radiation received is the same for every position considered in the row, so the choice of the place to implement the cover has no influence on its water consumption.

Mots-clés : vigne, bilan hydrique, enherbement, interception du rayonnement

Key Words: grapevine, soil water balance, cover crop, radiation interception