



UNIVERSITE D'ETAT D'HAITI

(UEH)

**FACULTE D'AGRONOMIE ET DE
MEDECINE VETERINAIRE (FAMV)**



**UNIVERSITÉ
LAVAL**

UNIVERSITE LAVAL

(UL)

**FAULTE DES SCIENCES DE
L'AGRICULTURE ET DE
L'ALIMENTATION (FSAA)**

**DEPARTEMENT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
DES ALIMENTS**

(DSTA)

*Evaluation des facteurs d'accumulation du potassium dans les cépages hybrides
cultives au Québec et leurs impacts sur les potentialités œnologiques*

Mémoire de fin d'études

Présenté par : **SUFRA** Jethro

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur-Agronome

Promotion 2011-2016

Option : Sciences et Technologie Alimentaire (STA)

Avril 2017

SUJET

*Evaluation des facteurs d'accumulation du potassium dans les cépages
hybrides cultivés au Québec et leurs impacts sur les potentialités
œnologiques*

08

Ce mémoire intitulé

Evaluation des facteurs d'accumulation du potassium dans les cépages hybrides cultivés au Québec et leurs impacts sur les potentialités œnologiques

A été approuvé par le jury composé de :

	Signature	Date
Pierre-Mathieu Charest Vice doyen aux études	_____	_____
Alina Gerzhova Membre	_____	_____
Lotfi Khiari Directeur de Recherche	_____	_____

DEDICACES

Je dédie ce travail de recherche spécialement à ma défunte mère, à mon père Monsieur Rolès SUFRA; mes frères Rodney SUFRA, Fedly SUFRA et ma sœur Rachelle EXCELLENT.

Pour leurs soutiens, leurs attentions envers moi et leurs conseils prodigués tout au long de mes études. Que ce geste soit le témoignage de ma plus profonde gratitude.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier en premier lieu le grand Architecte de l'univers pour m'avoir donné du courage, de l'intelligence et par déçu tout la vie. Pour m'avoir accompagné tout au long de mes études et pour la promesse d'un accompagnement futur.

Mes remerciements spéciaux s'adressent à ma famille qui malgré la distance ont continuer à me soutenir comme ils le font toujours, spécialement mon père Rolès SUFRA, ma sœur Rachelle et mes deux frères.

Tous mes remerciements s'adressent aussi à mes encadreurs, Karine Pedneault, Lotfi Khiari et Alina Gerzhova pour leurs judicieux conseils servant à alimenter mes réflexions, pour leurs disponibilités malgré les difficultés ayant changé le cheminement du travail et les activités prévues.

Je remercie l'organisme boursiers ayant financée ce programme des futurs leaders dans les Amériques (PLFA) et me permettant de réaliser mon mémoire de fin d'étude.

Je remercie du fond du cœur Daniel Marcotte technicien ayant voulu m'ayant porté assistance dans mes débuts de travaux de laboratoire ayant été prévus. Soutiens sans lesquels je n'aurais jamais achevé ce travail.

Je remercie également mes professeurs de la FAMV et spécialement le Directeur du département des sciences et technologie des aliments (STA), Harold Corantin.

Mes remerciements à mes collègues haïtiens m'ayant apporté conseils et soutiens, spécialement mes collègues Bredy Jhemson et Alexandre Fedral.

Enfin mes remerciements à tous et à toutes m'ayant aidé d'une manière ou d'une autre à la réalisation de ce travail.

Vos soutiens ont été du fond du cœur appréciés.

RESUME

De nombreuses études ont cherché à analyser l'effet de plusieurs facteurs sur le statut potassique des grappes et des mouts puis de son effet potentiel sur la qualité du vin. Les résultats ont montré que les 3 facteurs majeurs influençant la teneur en potassium dans les grappes sont le climat, la fertilisation et le statut hydrique du sol. Le choix du porte greffe revêt également d'une importance, (certains types comme le Ramsey contribue à l'augmentation de la teneur en potassium), tandis que l'effet variétale a montré moins d'influence, en effet, il existe de faibles différences entre le *Vitis vinifera* et les variétés métis ou hybrides. Ensuite, contrairement à l'effeuillage et à la taille qui engendrent une augmentation du potassium, certaines pratiques culturales comme la densité de culture et les modalités de treillis se sont révélées de moindre importance. Finalement, le type de sol ne traduit que des effets négligeables. D'autres facteurs comme les méthodes d'extraction des contenus des baies et les méthodes de macération (cas des cépages rouges) sont observés d'influence non significative sur le niveau de potassium des mouts. Les recherches ont aussi montré que la qualité du vin est dépendante des teneurs en potassium présentes dans les grappes et les mouts. Dans la plupart des études consultées, on a constaté qu'il existait une corrélation positive entre la teneur en potassium et deux des paramètres de base (niveau d'acidité et teneur en sucre) en vinification et en qualité du vin. Ainsi, une forte teneur en potassium est souvent à l'origine de vin trop peu acide et trop alcoolisé. En conclusion, les recherches ont clairement montré que la teneur en potassium des grappes et des mouts influence les paramètres qualitatifs du et qu'elle est le résultat d'un ensemble de facteurs combinés.

Mots clés : potassium, grappes, mouts, qualité, vin, pH, sucre, accumulation, influence.

Table des matières

TABLE DES MATIERES

DEDICACES	iii
REMERCIEMENTS	iv
RESUME	v
LISTE DES TABLEAUX.....	ix
LISTES DES FIGURES	xi
LISTES DES ANNEXES	xii
ANNEXE 1 : Modalités de systèmes de treillis.....	xii
ANNEXE 2 : Types et profondeurs de sol.....	xii
ANNEXE 3 : Données climatiques et météorologiques	xii
I. INTRODUCTION	1
1.1. OBJECTIFS	3
1.1.1. OBJECTIF GENERAL.....	3
1.1.2. OBJECTIFS SPECIFIQUES	3
1.2. HYPOTHESES	4
1.3. LIMITATIONS DE L'ETUDE	4
1.4. IMPORTANCES DE L'ETUDE	5
II. REVUE DE LITTERATURE	6
2.1. NUTRITION MINERALE DE LA VIGNE	6
2.1.1. BESOIN EN MINERAUX	6
2.1.2. ROLE DU POTASSIUM.....	6
2.2. COMPOSITION DES BAIES	7
2.3. DYNAMIQUE DE TRANSLOCATION DU POTASSIUM DANS LES GRAPPES ...	8
2.4. FACTEUR INFLUENÇANT L'ACCUMULATION	9
2.4.1. AU NIVEAU DES GRAPPES	10
2.4.1.1. CLIMAT/VARIATIONS INTERANNUELLE ET INTERSAISONNIERS..	10
2.4.1.2. CARACTERISTIQUES DU SOL.....	12
2.4.1.2.1. Pente	12
2.4.1.2.2. Type et Fertilité.....	12
2.4.1.2.3. Interactions des éléments minéraux	13
2.4.1.2.4. Teneur en eau du sol et Irrigation/drainage	14
2.4.1.2.5. pH /Acidité et alcalinité du sol	15

Table des matières

2.4.1.3.	LES VARIETES DE CEPAGES.....	16
	(Coulon & Barbeau).....	16
2.4.1.4.	PRATIQUES CULTURALES	17
2.4.1.4.1.	Fertilisation et amendement.....	17
2.4.1.4.2.	Greffage	18
2.4.1.4.3.	Entretien du sol et enherbement	18
2.4.1.5.	MODE DE CONDUITE.....	19
2.4.1.5.1.	Densité de culture	19
2.4.1.5.2.	Effeillage, éclaircissage	19
2.4.1.5.3.	Conduite de Taille.....	20
2.4.1.5.4.	Systèmes de treillis	20
2.4.2.	POTASSIUM AU NIVEAU DES MOULTS ET VIN	21
2.4.2.1.	NIVEAU DE MATURETE DES GRAINES	22
2.4.2.2.	METHODES D'EXTRACTION DU CONTENU DES BAIES.....	22
2.4.2.3.	TECHNIQUES DE MACERATION (CAS SPECIFIQUE DU VIN ROUGE)	23
2.4.2.4.	PRESSURAGE ET FILTRAGE	24
2.5.	INFLUENCE DU POTASSIUM SUR LES PARAMETRES DE QUALITE	24
2.5.1.	RELATION ENTRE LE POTASSIUM ET TENEUR EN SUCRE DES GRAPPES	24
2.5.2.	RELATION ENTRE POTASSIUM ET LE PH DES VINS	26
III.	METHODOLOGIE GENERALE	28
3.1.	COLLECTE DES DONNÉES EXPÉRIMENTALES.....	28
3.2.	CONDITIONS GENERALE DE REALISATION POUR CHAQUE ETUDE	28
3.2.1.	ÉTUDE SUR LE CLIMAT, LA VARIÉTÉ ET LE TYPE DE SOL	28
3.2.2.	ÉTUDE SUR L'EFFET DE LA VARIÉTÉ ET DU GREFFAGE.....	30
3.2.3.	EFFET DE L'EFFEILLAGE.....	32
3.2.4.	EFFET DE LA FERTILISATION.....	32
3.2.5.	ESPACEMENT ENTRE RANGS ET DES SYSTEME DE TREILLIS	34
3.2.6.	EFFET DE LA CONDUITE DE TAILLE	35
3.2.7.	EFFET DU TYPE MACÉRATION	38
3.3.	EXTRACTION DES DONNÉES DES TRAVAUX ANTÉRIEURES.....	38
3.3.1.	APERÇU DU PROGRAMME DATA THIEF.....	38

Table des matières

IV. RESULTATS ET DISCUSSION	41
4.1. CLIMAT, VARIÉTÉ ET TYPE DE SOL.....	41
4.2. VARIÉTÉ ET GREFFAGE	43
4.3. EFFET DE L'EFFEUILLAGE	48
4.4. ESPACEMENT ENTRE RANG ET SYSTÈMES DE TREILLIS	50
4.5. EFFET DE LA FERTILISATION	51
4.6. EFFET DE LA CONDUITE DE TAILLE.....	54
4.7. EFFET DU TYPE MACÉRATION.....	58
V. CONCLUSION	60
VI. REFERENCES	62
ANNEXES.....	66

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Prélèvements annuels par hectare de la vigne (Hamza, 2017) :	6
Tableau 2: Traitements de fertilisation appliqués (Raath, 2012).....	33
Tableau 3 : Traitements appliqués aux plants de vigne pour les quatre cépages (Provost et al., 2014)	37
Tableau 4 : Composition des baies a la maturité en fonction du type de sol, de la variété et du millésime (Van Leeuwen et al., 2004)	41
Tableau 5: Composition des baies de Cabernet Sauvignon à la récolte en fonction de différents degrés d'espacement entre les rangs de vignes (Mark Kliewer et al., 1997).....	50
Tableau 6: Composition des baies de Cabernet Sauvignon à la récolte en fonction de différents systèmes de treillis	50
Tableau 7 : Composition des raisins de Pinot noir en fonction de différentes modalités de taille dans deux parcelles différentes (Ofena et Rosciano)(PIREZ et al., 2014)	54
Tableau 8: Expression des résultats de quelques paramètres œnologiques classiques comparee a un temoin en fonction de differents types de maceration (Geffroy et al., 2013)	58

LISTES DES FIGURES

Figure 1:teneur moyenne en potassium de la baie (MPELASOKA et al., 2003)	8
Figure 2: Flux de translocation du potassium au niveau des baies (MPELASOKA et al., 2003) ..	9
Figure 3: Relation entre les différents facteurs d'influence et la qualité du vin (Smart et al., 2015)	10
Figure 4:Exportation en potassium des grappes pour une traitement avec irrigation et sans irrigation (Zaballa et al., 1996)	14
Figure 5:Assimilabilite des éléments en fonction du pH du sol(Cadet, 2005)	15
Figure 6 : Valeur souhaitable (mg/L) de la teneur en élément minéraux de mouts (Soyer, 1999)	21
Figure 7:relation entre la teneur en potassium et le Taux de solides solubles (TSS)	25
Figure 8:relation entre la teneur en potassium et le pH des vins(Boulton, 1980).....	27
Figure 9: Fenêtre d'extraction de données avec le logiciel Data Thief	39
Figure 10: Concentration en potassium des grappes pour le Muscat (M), Syrah (S), Reisling (R), Cabernet Sauvignon et Chardonnnet (C), greffés et non greffés (Walker et al., 1998).....	43
Figure 11: Teneur en potassium des mouts de 17 variétés de cépages hybrides (blancs et rouges) (Provost, 2013).....	45
Figure 12 : Concentration en potassium de pétioles pour quatre variétés de cépages hybrides en fonction de différents porte greffe (Provost, 2015)	47
Figure 13: Centration en potassium en fonction de différents niveaux d'effeuillage (Ateş et al., 2016)	48
Figure 14: Concentration en potassium en fonction des traitements de fertilisation appliqués pour quatre millésimes différents (véraison et maturité) (Raath, 2012)	52
Figure 15: Teneur en potassium des raisins de Pinot noir pour différentes modalités de taille (PIREZ et al., 2014)	55
Figure 16: Concentration en potassium pour trois variétés de cépages hybrides différentes en fonction de différentes modalités de taille (Provost et al., 2014)	57

LISTES DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Modalités de systèmes de treillis

ANNEXE 2 : Types et profondeurs de sol

ANNEXE 3 : Données climatiques et météorologiques

I. INTRODUCTION

La viticulture est une activité pratiquée de plus de 7000 ans d'après certaines découvertes archéologiques. Jusqu'à aujourd'hui elle représente un poids important dans l'économie mondiale, dans laquelle les pays comme la France, l'Italie, et l'Espagne forment un trio qui reste en tête en termes de production vinicole mondiale. Ce dernier représente en effet plus de 48% de la production mondiale en vin. La balance commerciale des français pour les vins était évaluée à un chiffre d'affaire de 9,3 milliards d'euros en 2013, ce qui en effet met la viticulture en premier place dans le secteur exportateur agroalimentaire. Pour l'année 2015 (Bédé & Bédé), les classements de production viticole mettent l'Italie en première place avec 48.8 millions d'hectolitre, la France en deuxième avec 47,3 millions, puis viens l'Espagne avec 36,6 millions d'hectolitres et en quatrième viens les États-Unis. Le domaine de la production viticole n'est pas cependant basé uniquement sur la production globale en termes de valeur mais est aussi axé sur la qualité cette de la production. En en effet la qualité de la production de vin constitue aussi un atout économique pour les industries viticoles. Comme mentionné précédemment plusieurs pays parmi lesquelles la France, l'Italie, sont des précurseurs en viticulture et production de vin de qualité. Ces derniers dominent l'industrie vinicole grâce au départ à certains avantages naturels et au développement du secteur au fil des années (Dubois & Deshaies, 1997). Ce domaine d'activité est par contre, et malheureusement moins développé au Canada, en considérant particulièrement le Québec comparé aux autres pays précédemment cités. Malgré sa situation actuelle en termes de développement viticole, la viticulture québécoise a fait de nombreux progrès au cours des années grâce au recherches scientifiques et aux études réalisées dans le domaine. Cependant la recherche de la qualité optimale ; est défini comme l'un des critères les plus importants et s'inscrit toujours dans la logique de développement de l'industrie viticole. Cette qualité est bien entendu directement liée à la qualité de la matière première à savoir de sa composition en matière d'éléments minéraux, en composés aromatiques, en sucres, en acides, et tout éléments jouant un rôle important lors des processus de vinification.

Par ailleurs au Québec, ce secteur fait face à un grand nombre de facteurs limitants tant du point de vue naturel, biologique, cultural et autres ; qui font que pour la production de raisins de qualité, à fort potentiel œnologique, il n'est pas souvent idéal et même possible d'aborder cette culture de

Introduction

manière similaire aux pays au climat plus avantageux où il est aisément possible d'utiliser le *Vitis vinifera* (Vincent & Lasnier) pour l'obtention d'une bonne production. Parlant de ces facteurs nous faisons de manière succincte référence aux hivers nordiques désavantageux, aux conditions de fertilités et de drainage des sols. Ce cas spécifique du Québec amène certains auteurs tel Aspler en 1983 dans son guide des vignobles au Canada à dire que le Québec est une non-grape-growing-province (Dubois & Deshaies, 1997). Ces facteurs ont des répercussions tout au long de la chaîne de production du vin, tenant compte de leurs influences sur la composition de la matière première par rapport à son statut en éléments minéraux dont l'un des plus importants est sa teneur en potassium. L'utilisation de cépages rustiques, de variétés hybrides, la pratique culturales particulières comme le greffage, la culture à l'herbe, l'effeuillage ont fait l'objet d'études scientifiques et représentent des démarches non complètement efficaces mais réduisent l'incidence de ces facteurs dans le but de rendre compétitif l'industrie vinicole au Québec. À côté de ces facteurs climatiques, pédologique et autres, il est révélé par des études que d'autres facteurs affectent la qualité et sont importants à prendre en compte, c'est le cas des méthodes d'extraction du contenu des baies et aussi des différentes méthodes de macération dans le cas spécifique du vin rouge (Geffroy et al., 2013), et aussi de la qualité du pressurage qui affectent d'une certaine manière le passage d'éléments minéraux des mouts aux vins. Ces études ont montré que ces pratiques contribueront éventuellement à une variation de la teneur en potassium.

La teneur en potassium des grappes influence les paramètres chimiques lors de la vinification. Parmi les paramètres chimiques influencés par la teneur en potassium nous retenons le pH comme étant l'un des facteurs les plus importants, jouant un rôle dans l'équilibre de la sensation gustative, la stabilité, le maintien de la couleur et la conservation des vins. Ce niveau de pH du vin dépend en grande partie des interactions entre les acides tartrique et malique avec le potassium en fonction de leurs concentrations respectives au départ dans les raisins et dans les mouts qui en découlent. C'est ainsi qu'en industrie vinicole assurer la production d'un vin de qualité nécessite au départ d'avoir une bonne connaissance sur les paramètres chimiques et biochimiques au cours du processus qui dépend au départ de la constitution de la matière première, dans le cas particulier de cette étude, de sa teneur en potassium, elle-même influencée par l'ensemble des facteurs précédemment mentionnés.

Introduction

Considérant l'importance de cette concentration en potassium sur le niveau du pH et de manière implicite sur la qualité du vin, comprendre et maîtriser les facteurs dont cette concentration dans les raisins et dans les mouts dépend se révèle important et même indispensable. Ainsi il demeure essentiel de répondre de savoir; à quelle mesure ces facteurs influencent-ils la teneur en potassium et quelle sont les conditions à respecter pour optimiser cette accumulation,

En effet afin d'apporter des éléments de réponses à ces questions, notre étude se propose d'évaluer l'ensemble des facteurs qui contribuent à l'accumulation du potassium dans les raisins et dans les mouts tout en mettant l'emphase sur les caractéristiques et le potentiel œnologique de ces derniers.

1.1.OBJECTIFS

1.1.1. OBJECTIF GENERAL

L'objectif de cette étude est de déterminer les facteurs qui influencent le statut en potassium dans les grappes et les mouts des cépages hybrides cultivés au Québec et d'évaluer leurs impacts sur les potentialités œnologique de ces derniers.

1.1.2. OBJECTIFS SPECIFIQUES

- Identifier l'influence des facteurs environnementale, variétales et culturales sur le statut en potassium des grappes de quelques variétés de cépages utilisés au Québec ;
- Identifier l'influence des pratiques viticoles sur la teneur en potassium des mouts ;
- Présenter le statut potassique des grappes et des mouts en fonction des différents paramètres d'influence étudiés ;
- Établir des fourchettes de dose de potassium nécessaires au maintien de la qualité du vin

Pour atteindre ces objectifs nous nous proposons d'effectuer l'étude en suivant une démarche composée de plusieurs étapes consécutives :

La première consiste en une étude bibliographique synthétisant les connaissances et études sur les baies, leurs compositions en éléments minéraux plus précisément en potassium, la manière dont

Introduction

la translocation des minéraux se fait au niveau de celle-ci, les facteurs qui influencent cette accumulation et les relations en termes de teneurs en potassium et indices de qualité.

La deuxième étape constitue à la présentation de l'ensemble des méthodes et procédures utilisées pour la mise en évidence de l'influence de chacun des facteurs identifiés.

La troisième étape concerne la présentation des résultats des études sur ces facteurs et de leurs discussions.

Enfin une conclusion générale afin de mettre l'accent sur les principaux résultats obtenus.

1.2.HYPOTHESES

La teneur en potassium des grappes et des mouts peut varier significativement d'un facteur à l'autre.

Il existe des valeurs critiques d'accumulation du potassium dans les grappes et les dans les mouts au-delà desquelles les critères de qualité des vins sont affectés.

1.3.LIMITATIONS DE L'ETUDE

Les facteurs qui influencent l'accumulation du potassium dans les grappes et les mouts sont nombreux, il est de ce fait très fastidieux de les étudiés en même temps. De plus l'étude se base sur des données d'expérimentation déjà effectuée en conditions expérimentales propres et variables à chaque facteur. Dans ce sens l'études ne permettrait de mettre en évidence les paramètres influençant l'accumulation en potassium que de manière globale et non exhaustive. C'est ainsi que ce projet se limite à étudier l'accumulation du potassium chez les cépages hybrides cultivés au Québec face à certains facteurs d'influence.

D'autre part le projet constitue une limite du fait de sa spécificité par rapport aux baies et aux mouts mais non aux vins qui peuvent en découler. Il faudrait en effet pour la compléter, réaliser une étude sur l'ensemble de la chaîne c'est-à-dire depuis la production du raisin jusqu'au stade finale de transformation à savoir le vin. Ces limites ne constituent pas en générale un défaut face à l'importance de la question.

Introduction

1.4.IMPORTANCES DE L'ETUDE

L'étude se révèle d'une grande importance dans la mesure où elle met en évidence la teneur en potassium dans les grappes et les mouts dépendant de nombreux facteurs. Ainsi elle permettra d'avoir une idée globale sur les paramètres influençant l'accumulation en potassium tout en identifiant ceux dont les impacts en sont majeurs. Il est en effet important d'étudier l'impact de ces facteurs à la base (grappes et mouts) afin de prévenir les problèmes de qualité des vins qui en résultent. La compréhension de ces facteurs permettra dans le futur d'optimiser la quantité du potassium dans les mouts et aussi d'avoir de meilleures connaissances sur certains paramètres comme le pH, la teneur en solides solubles (TSS) et l'acidité total, afin de garantir tout d'abord un bon déroulement des processus de vinification notamment de la fermentation, et aussi la brillance, la stabilité de la couleur et la conservation des vins.

II. REVUE DE LITTERATURE

2.1. NUTRITION MINERALE DE LA VIGNE

2.1.1. BESOIN EN MINERAUX

Les besoins nutritionnels de la vigne constituent en générale treize éléments minéraux dont sept macroéléments (N, P, K, Mg, Ca, S, Cl) et six éléments mineurs (Fe, Zn, Mn, Cu, Mo, B) (Hamza, 2017).

Le tableau suivant décrit les prélèvements annuels de la vigne en éléments minéraux selon DELAS, 2000 (Hamza, 2017). Ces données ont été recueillis par analyses des différentes parties de la plante à savoir les feuilles les rameaux et les grappes.

Tableau 1: Prélèvements annuels par hectare de la vigne (Hamza, 2017) :

Éléments	Éléments majeurs (Kg)					Oligoéléments (g)				
	N	P	K	Mg	Ca	Fe	B	Cu	Zn	Mn
Ha/an	20-70	3-10	25-70	6-15	40-80	400-800	80-150	60-120	100-200	80-160

2.1.2. ROLE DU POTASSIUM

Le potassium un élément facilement transportable au niveau de la plante. Malgré le fait qu'il n'entre dans la constitution d'aucun composé organique selon DELAS, cité par (Hamza, 2017), il joue de nombreux rôles au niveau de la vigne qui font qu'il est absorbé en quantité importante. En effet il intervient dans la régulation de la pression osmotique des cellules. Il participe aussi dans la réalisation de nombreuses réactions métaboliques jouant un rôle de cofacteur enzymatique. Au niveau de la vigne, il joue un rôle important dans l'accumulation des assimilés comme le sucre, le malate dans les grappes (Cadet, 2005) et (Andersson et al.).

Au cours des périodes de début de floraison jusqu'à la véraison l'assimilation en potassium au niveau de la vigne est plus ou moins importante et augmente après la véraison. C'est au cours de

Revue de littérature

cette dernière que le potassium migre des feuilles vers les baies selon Champagnol cité par Hamza (2017).

Les carences en potassium au niveau de la vigne s'observent à des échelles différentes en fonction des niveaux de carences observés. Ces derniers ont des conséquences ; ainsi au niveau cellulaire une carence en potassium peu engendre une diminution de la vitesse d'expansion cellulaire, une faible concentration en sucre solubles. A l'échelle de la plante et des organes les carences en potassium ont des impacts dépendants de la surface foliaire et sur l'accumulation des autres éléments minéraux (Andersson et al.).

Il est jusqu'ici mal connu quant au rôle du potassium dans les baies. On sait cependant que ce dernier joue un rôle important dans la croissance des baies. Dans les sens qu'il permet le relâchement de la membrane des baies, lors l'expansion cellulaire à la véraison, par l'acidification de celle-ci, en assurant l'équilibre au niveau du cytoplasme suite au pompage d'ions H⁺ vers l'extérieur (MPELASOKA, SCHACHTMAN, TREEBY, & THOMAS, 2003).

2.2.COMPOSITION DES BAIES

(Ali, 2015; El Darra, 2013)

Les grappes sont des unités biologiques constituées d'un ensemble de baies réunies par la rafle. Les baies sont en effet de unités complexes composées de trois parties, la pellicule, la pulpe et les pépins. En général les baies contiennent des métabolites primaires et des éléments qui sont synthétisés au cours de la maturation.

La rafle et les trois parties de la baie sont constituées d'éléments minéraux (2 à 3 %) comme le potassium, le phosphore, le calcium, le magnésium, le chlore, le sodium, le fer, etc. et aussi de composés organiques de natures plus ou moins différentes, on définit ainsi de manière plus détaillée:

- Le rafle comme est un système composé de parties plus ou moins ligneuse qui assure la conduite des éléments nutritifs au niveau des baies. On retrouve principalement, au niveau de ce dernier, des tanins (environ 3%), des éléments minéraux (2 à 3%) et enfin une proportion en eau allant de 70 à 80%.

Revue de littérature

- La pellicule, enveloppement des baies, est constituée d'eau, de composés aromatiques d'intensité variables suivant l'année, le sol et le degré de maturité ; on y trouve aussi des colorants à savoir les flavonols pour les cépages blancs, les anthocyanes et les falvonols pour les cépages rouges, enfin on trouve des tanins et des composés pectiques.
- La pulpe composée en majeure partie d'eau (70 à 80 %), on y trouve aussi des sucres (glucose et lévulose), des acides organiques, des sels minéraux (), des composés azotés et des vitamines (C, P, B).
- Quant aux pépins ils sont essentiellement constitués de tanins, d'OPC (oligomères proanthocyaniques), d'éléments minéraux et d'huiles

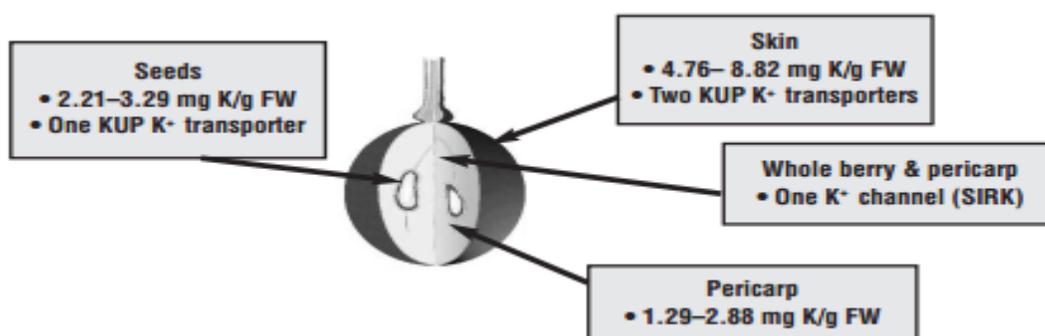


Figure 1: teneur moyenne en potassium de la baie (MPELASOKA et al., 2003)

FW : Formula Weight

2.3. DYNAMIQUE DE TRANSLOCATION DU POTASSIUM DANS LES GRAPPES

L'accumulation en potassium dans les grappes dépendant exclusivement de la qualité de la nutrition potassique de la plante donc du flux au niveau du xylème et du phloème. Et ce dernier varie aussi en fonction des saisons et en fonction de stade de développement (MPELASOKA et al., 2003) (fig. 2).

Au niveau des raisins il se produit augmentation de la concentration en potassium entre la véraison et la maturité, corrélée à une diminution de la concentration au niveau des feuilles, phénomène connu de décharge potassique (Dubernet et al., 2015). Cette accumulation en potassium s'accompagne d'une augmentation de la taille des baies, d'une augmentation de la concentration en sucre et en acide malique.

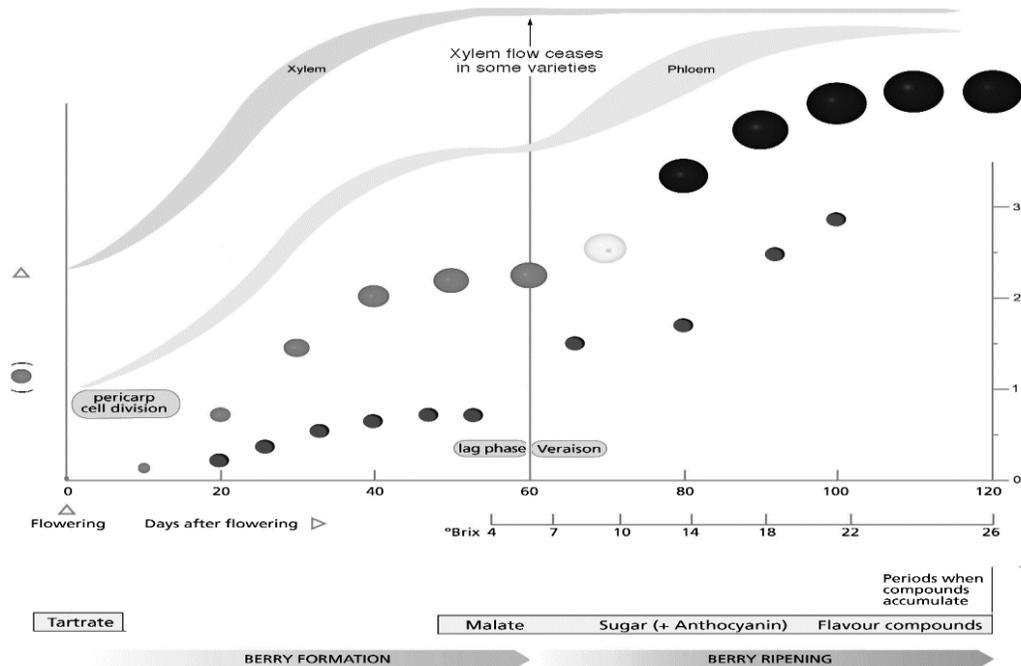


Figure 2: Flux de translocation du potassium au niveau des baies (MPELASOKA et al., 2003)

2.4.FACTEUR INFLUENÇANT L'ACCUMULATION

Plusieurs facteurs peuvent être considéré comme influençant l'accumulation en potassium dans les grappes, nous pouvons identifier le climat en adjoignant les variations entre les saisons comme étant l'un des facteurs principaux. Nous prenons en compte aussi d'autres facteurs comme la structure physique ou évolue la plante à savoir le sol par rapport à ses caractéristiques ; les variétés de cépages utilisées, leurs stades de développement et les pratiques culturales (Smart, Robinson, Due, & Brien, 2015). Ces en fonctions des variabilités interannuelles du climat des pratiques culturales différents avec les années qu'on observe en effet des variations du point de vue du statut nutritionnel de la vigne.

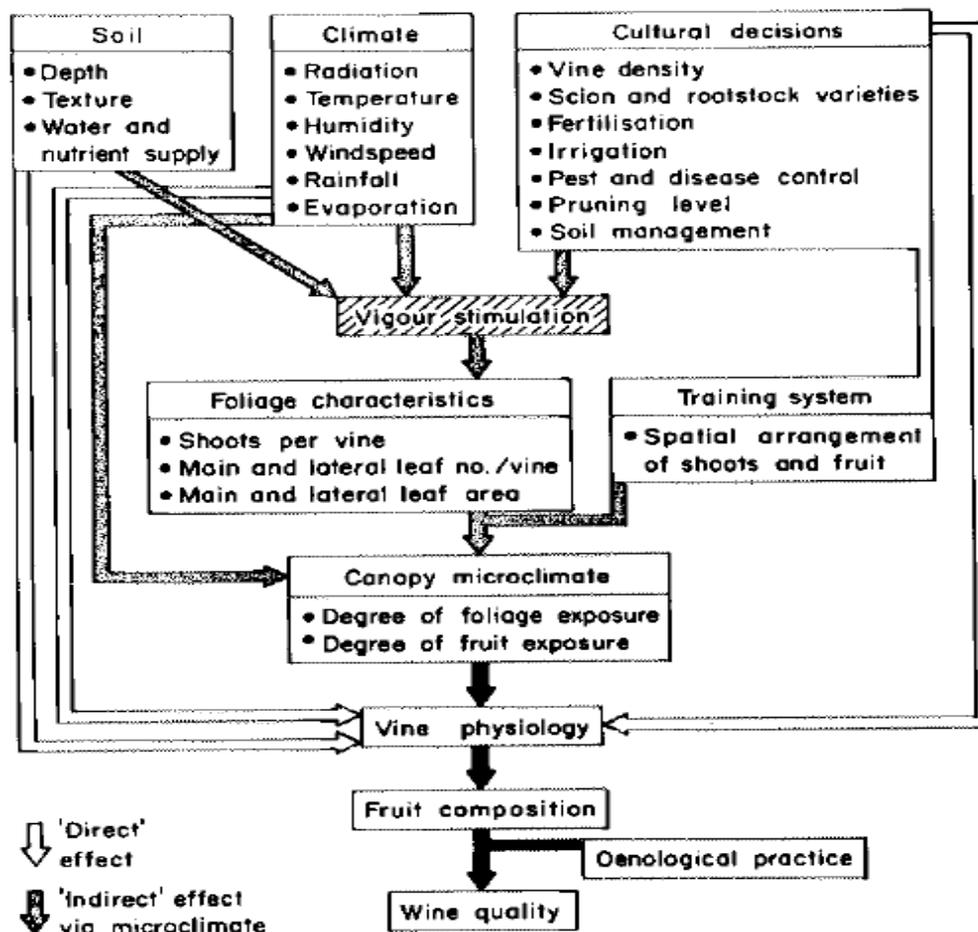


Figure 3: Relation entre les différents facteurs d'influence et la qualité du vin (Smart et al., 2015)

2.4.1. AU NIVEAU DES GRAPPES

2.4.1.1. CLIMAT/VARIATIONS INTERANNUELLE ET INTERSAISONNIERS

Le climat en fonction de ces composantes (radiation, température, etc.) constitue un des facteurs qui influence la nutrition de la plante en général et l'accumulation au niveau des grappes des éléments minéraux, selon Sheideker cité par Hamza (2017), et Giomo, Borsetta, and Zironi (1995). Les paramètres de caractérisation de l'impact du climat sur la nutrition de la vigne et l'accumulation du potassium dans les raisins considérés sont pour la plupart d'ordre thermique et radiante. Ces paramètres déterminants du climat sont très importants pour que les grappes arrivent à maturité optimale.

Au Québec, les conditions climatiques sont très contrastées si l'on tient compte des variations annuelles, c'est le cas d'été pluvieuse en 1995 alors que celle-ci était sec en 1996 (Dubois &

Revue de littérature

Deshaies, 1997). De même elles varient à l'intérieure d'une même année car dans la plupart des pays tempérés les saisons sont variables et très marquées. Ainsi on a au Québec des hivers au très froid avec des moyennes annuelles estimées à -13°C (ville de Québec, 2014), les printemps par contre est tardif tardifs et les automnes hâtifs. L'été pour sa part est la période de risque d'attaque de ravageurs, de peste et autre, avec des moyennes annuelles d'environ 19°C (LES CARACTÉRISTIQUES & DU RÉGIME).

La culture de la vigne est une culture nécessitant un climat chaud et moyennement ensoleillé. En effet une bonne croissance de la vigne, la température moyenne annuelle ne devrait pas être en dessous de 9°C (Dubois & Deshaies, 1997) . Un climat trop chaud et ensoleillé entraîne une perte de l'acidité des raisins, un enrichissement en sucre et en potassium ce qui donne des vins liquoreux alors qu'en climat peu ensoleillée et trop froid les raisins ont moins de potassium et sont donc plus acide et donnent des vins de mauvaise qualité gustative (Dubois & Deshaies, 1997). Dans le premier cas cela est dû à une forte accumulation en potassium accompagnée d'une forte activité photosynthétique (Malquori & Parri, 1980). D'autre part, les situations de gel hivernal constituent en effet un facteur climatique de risque majeur, dans le sens que les racines et les bourgeons des raisins ne tolèrent mal le gel en dessous de 25°C ; par contre celle-ci peut atteindre jusqu'à -35°C au Québec (Dubois & Deshaies, 1997). Il est aussi connu que le potassium aide à la résistance au gel hivernal en climat froid (Malquori & Parri, 1980) ce qui fait que dans ces conditions ce dernier est beaucoup plus absorbé par la vigne.

Par ailleurs avec le phénomène de réchauffement climatique globale, certaines zones tendent à être favorable pour la culture de la vigne au Québec considérant que les températures montrent une tendance à la hausse depuis 1950 à 2011 soit une augmentation de 1 à 3°C sur une période de 62 ans (LES CARACTÉRISTIQUES & DU RÉGIME).

Le climat comme facteurs influençant la nutrition de la vigne et sur le statut potassique des raisins est jusqu'ici mal connu. Toutefois nombreux auteurs sont d'avis que les hautes températures favorisent l'accumulation du potassium dans les raisins (De Orduna, 2010) et s'accompagne d'une augmentation de l'activité photosynthétiques alors que les basses températures la favorisent dans une moindre mesure, dans le but d'assurer la protection contre le gel hivernal.

Mise- à -part les conditions climatiques difficiles qui influencent l'accumulation en potassium d'autres facteurs qu'il faut considérer influence aussi le statut potassique final des grappes.

2.4.1.2. CARACTERISTIQUES DU SOL

Parlant du facteur sol qui affecte l'accumulation potassique dans les grappes nous voyons aussi les caractéristiques du sol, qui englobent un ensemble de facteur tel le type de sol et la fertilité du sol dépendamment de la balance en les élément minéraux, de la teneur en eau, de l'acidité, etc.

2.4.1.2.1. Pente

La pente du terrain peut influencer la disponibilité du potassium donc aussi son assimilation en translocation au niveau des graines. En effet une pente très élevée entraîne un lessivage excessif du potassium. Le pente légère et modérée sont souhaitable étant donné que ces dernier permette un meilleur drainage de l'air froid et de l'eau que les régions plates (Michaud, Bourgeois, & Plouffe). Selon Jones, Snead, and Nelson (2004) dans une étude effectuée en Oregon, les sites ayant une pente variant de 5 à 15 % sont les plus adaptés à la culture de la vigne. Les pentes de plus de 15% sont non recommandé à cause des risques d'érosion et de lessivage des éléments minéraux notamment le potassium (Pool, 1999).

2.4.1.2.2. Type et Fertilité

La culture de la vigne ne dépend pas des conditions de fertilité de sol dans le même sens que la plupart des végétaux, ce dernier peuvent pousser dans des milieux pauvres en éléments minéraux. En effet elle est beaucoup plus sensible à la structure du sol que de sa composition en éléments minéraux (Dubois & Deshaies, 1997).

La vigne est une plante qui conserve sa croissance du moment que les conditions sont favorables et elle est une plante à croissance indéterminée. De ce fait pour les sol riches en élément minéraux, les vignes donnent des pousses plus rigoureuses se traduisant par une croissance des rameaux principaux et une ramification abondante (CELETTE, 2007), et aussi des raisins de moindre qualité alors que pour les sol pauvres la structure végétale de la vigne est rabougri mais les raisins sont de meilleur qualité (Dubois & Deshaies, 1997). C'est en effet le cas typique au Québec, la fertilité du sol peut être à l'origine ; d'une vigueur excessive de la vigne, d'une plus grande sensibilité face à la pourriture au dessèchement et aussi de l'obtention de vins de mauvaise qualité dû au mauvaise qualité de raisins obtenue du vendage (Cadet, 2005).

Revue de littérature

Dans les sols de Québec minéraux comme le potassium, ne se trouve pas en faibles quantités en effet, les carences en potassium sont rares en sols argileux ou limono-sableux. Cependant pour les sols très argileux qui ont une capacité de rétention plus élevée des éléments minéraux on observe une diminution de la disponibilité en potassium pour la vigne car ce dernier est beaucoup plus retenu par le sol. C'est pourquoi dans ce cas des phénomènes de carence en potassium peuvent apparaître (Hamza, 2017). Pour les sols sableux dont la teneur en argile est moindre on rencontre souvent une teneur en potassium disponible pour les plantes plus élevée dû à la solubilisation du potassium (Peacock, 2007). Selon Hamza (2017) plus la teneur en sable du sol est élevée plus l'alimentation moyenne en potassium est aussi élevée.

Selon Dubois and Deshaies (1997) pour citer Blij (1981), l'idéal serait d'avoir un sol permettant à la fois la rétention d'un minimum d'eau, la mobilité des éléments minéraux et aussi une aération adéquate en d'autre terme un sol composé en partie égale de sable de limon et d'argile.

2.4.1.2.3. Interactions des éléments minéraux

L'absorption des éléments minéraux au niveau de la vigne comme au niveau de toutes les plantes dépend des interactions entre les différents éléments présents dans le sol. L'absorption du potassium par la vigne va dans ce même ordre d'idée.

Au niveau du sol il se développe des interactions entre le potassium avec le calcium et le magnésium. En cas d'excès de l'un de ces deux éléments, il se développe un effet antagoniste en rapport à l'accumulation en potassium. Une étude de Hannan (2011) a révélé que des déficiences en potassium peuvent s'observer au niveau de la vigne si le rapport K/Mg est inférieur à 0,30 cité par Moss (2016). Par conséquent la concentration relative en potassium et en d'autres cations dans la solution du sol est important à considérer pour les niveaux d'absorption de ce dernier par la vigne et son accumulation dans les grappes (MPELASOKA et al., 2003).

Par ailleurs les interactions avec l'azote sont plutôt de type synergique. Ce phénomène s'explique en effet par une assimilation potassique plus élevée et s'explique du fait d'une meilleure croissance végétative et notamment un bon développement racinaire due à l'assimilation en azote (Dubernet et al., 2015).

Revue de littérature

2.4.1.2.4. Teneur en eau du sol et Irrigation/drainage

Les caractéristiques du sol tiennent compte aussi de sa teneur en eau car la plante absorbe les éléments minéraux en solution. Le régime hydrique du sol dépend en effet du climat et des pratiques agricoles d'irrigation ou de drainage. Que ce soit l'eau apportée par l'irrigation ou par la pluie les deux constituent des composantes dans l'alimentation hydrique de la vigne. Ces derniers influence l'assimilation en éléments minéraux notamment en potassium de la vigne dont l'intensité de ces influences dépend aussi d'autres facteurs tel la pente quant à sa d'érosion, la structure du sol quant à la capacité de filtration.

Une forte proportion en eau du sol ne dépassant pas l'optimum est favorable au développement végétatif de la vigne par le fait d'une augmentation de la disponibilité des éléments minéraux qui sont mise en solution, aussi d'une disponibilité en eau pour répondre évapotranspiration ce qui entraîne la production de beaucoup plus de feuilles et de tiges que de raisins (Midi-Pyrénées, 2001). De même par rapport au niveau de solubilité élevée du potassium des études ont montré que l'assimilation de ce dernier par la vigne et l'accumulation dans les grappes sont plus abondantes, en cas d'apport ou de disponibilité optimale en eau tout au long du cycle de culture. C'est en effet ce qu'on constate sur la figure 4 qui décrit que l'irrigation par exemple qui contribue à la disponibilité du potassium dans le sol et une exportation plus élevée par les grappes (Zaballa, García-Escudero, Chavarri, Medrano, & Arroyo, 1996) (Coulon & Barbeau).

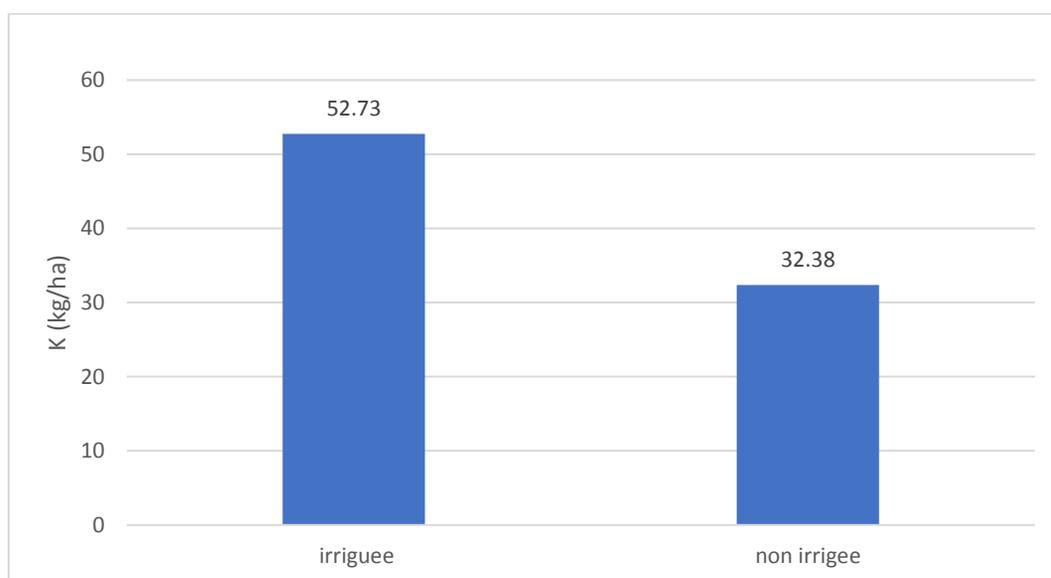


Figure 4: Exportation en potassium des grappes pour une traitement avec irrigation et sans irrigation (Zaballa et al., 1996)

Revue de littérature

Cependant en cas de manque de drainage ou lors des longues périodes pluvieuses l'assimilation en potassium passe par un maximum puis décroît considérablement car une grande quantité d'eau affecte la respiration du système racinaire et est à l'origine d'un mauvais développement et parfois de l'asphyxie de cette dernière dans le cas d'un sous-sol mal drainé (Casamayor, 2013) .

2.4.1.2.5. pH /Acidité et alcalinité du sol

La disponibilité et de fait l'absorption des éléments minéraux du sol varie en fonction du pH de ce dernier. La majorité des éléments nutritifs sont moins disponibles pour les plantes en sols trop acides ou trop alcalins.

En effet l'acidité du sol influence sur l'absorption du potassium par la vigne donc déductivement sur l'accumulation dans les grappes. Pour la vigne le pH optimum pour l'assimilation potassium se situe autour de 5,5 à 7. A un niveau de pH inférieur à 4 ou supérieur à 8 la plupart des éléments minéraux notamment le potassium (exception pour le zinc), sont moins assimilables par les plantes (Moss, 2016).

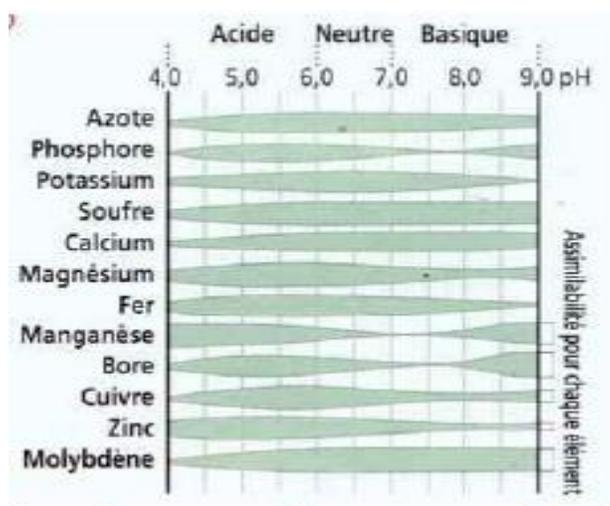


Figure 5:Assimilabilité des éléments en fonction du pH du sol(Cadet, 2005)

Revue de littérature

2.4.1.3. LES VARIETES DE CEPAGES

(Coulon & Barbeau)

L'accumulation en élément minéraux se fait en fonction des besoins spécifiques de chaque cépage. Ce dernier dépend aussi du stade de développement des cépages. Plus bas est décrit les besoins en potassium de quelques cépages.

- Le Carignan est un cépage rustique très sensible à l'oïdium, il a en effet des besoins en potassium plus ou moins élevé durant les périodes de floraison-nouaison, de véraison et de maturité.
- Le grenache noir est un cépage très sensible à l'excès en potassium, ces besoins en ces derniers sont en effet peu. Il assimile par contre beaucoup de magnésium.
- Le Chardonnay est un cépage issu d'un croisement entre le pinot noir et le gouais. Ce cépage a des besoins en potassium, en phosphore et en magnésium considérables pour la résistance au gel printanière.
- Le Chenin quant à lui accumule beaucoup de magnésium tout au long de son cycle de développement végétatif mais moins de potassium.
- Le Merlot noir est un cépage issu du métissage intra spécifique entre le Cabernet franc et la Magdeleine noire, ses besoins en azote sont élevés au départ, à la nouaison et aussi après la véraison ces besoins en potassium sont considérables. En cas de carences en potassium chez le Merlot noir les feuilles prennent une coloration caractéristique. Des apports en azote et en potassium sont envisageable dans ce cas en vue de corriger les carences et de prévenir les coulures des baies.
- Pour le Marselan noir les besoins en potassium sont modérés par rapport aux autres cépages.
- Le cépage Mourvèdre un cépage tardif a un très mauvais fonctionnement chlorophyllien. Afin de prévenir les retards de maturité, il faut essayer d'optimiser ce dernier dès le début

Revue de littérature

de végétation. Les besoins en potassium chez le Mourvèdre apparaissent à la floraison et ceci parfois de façon brutale. On observe ainsi des brunissements au niveau des feuilles en face des grappes. Ces besoins vont en effet être confirmés à la nouaison et vont grandement augmenter à partir de la véraison.

- Cabernet Sauvignon le produit du métissage entre un Cabernet franc et un sauvignon blanc est un cépage qui absorbe moyennement le potassium
- Le Frontenac noir, blanc et gris sont des variétés de cépages hybrides dont l'accumulation en potassium est considérable.

Les études sur les besoins en potassium des cépages hybrides sont jusqu'ici peu abondantes

2.4.1.4. PRATIQUES CULTURALES

Il n'est pas mal connu que les pratiques culturales ont des effets la teneur en potassium et la qualité des grappes donc de façon déductive sur la qualité des mouts. Les pratiques généralement utilisées sont classées en plusieurs catégories, qui sont des pratiques fixes liées à l'implantation des parcelles, les techniques d'amélioration de la vigne.

2.4.1.4.1. Fertilisation et amendement

La fertilisation de la vigne est l'une des pratiques qui peuvent affecter la plus sévèrement l'accumulation en potassium dépendamment de quel type de fertilisant appliqué.

L'accumulation en potassium se fait en fonction de la concentration du sol en cet élément. En effet les apports en potassium par exemple contribuent à l'augmentation de sa concentration au niveau du sol ce qui augmente l'accumulation au niveau des grappes. Si le potassium se trouve en grande quantité dans le sol la vigne peut prélever plus que la quantité dont elle a besoin pour assurer son métabolisme (Conradie et Saayman, 1989a) cité par Moss (2016). C'est-à-dire plus le sol est riche en potassium plus le niveau de potassium au niveau de la vigne et des grappes sera élevé (Renouf, 2006). D'autres pratiques culturales à côté de la fertilisation peuvent contribuer à la variation de la teneur en potassium.

Revue de littérature

2.4.1.4.2. Greffage

Le greffage est une méthode déjà pratiquée dans le but d'améliorer la résistance cépages face soit aux conditions climatiques, aux maladies ou aux contraintes liées à la fertilité des sols. On l'utilise aussi dans le but de raccourcir le temps de maturation des cépages et aussi pour son impact sur la qualité des raisins.

Plusieurs travaux ont montré que le greffage affecte la nutrition des cépages. On peut prendre comme exemple les travaux de GALLO et RIBAS 1962 ; BBOVAY et ISOZ (1965) ; CHARLES et al. (1966) ; LEVY (1970) ; SCIENZA et VIZAI (1975) ; KHEILIL (1975) cités par Delas and Pouget (1979). Certains auteurs sont d'avis que la variation de l'assimilation minéral résulte de l'action du greffon, d'autres auteurs au contraire sont du côté des porte-greffes. Une étude de RUHL (1989) cité par Kodur (2015) a montré que le niveau de potassium des grappes issu du greffage entre le *Vitis berlandieri* et le *Vitis rupestris* était faible, mais pour ceux issu du croisement entre le *Vitis champinii* et le *Vitis rupestris* ont eu des niveaux élevés en potassium. Certaines études montrent que ceci est dû principalement à l'effet des deux composantes à savoir porte greffe et greffon ; le premier pour une aptitude, variable selon l'espèce, à absorber par ses racines les éléments en proportion variable et le second une aptitude à les accumuler dans ses organes foliaires ou dans les grappes.

Il n'y a cependant pas de contradiction au fait que le greffage en soit modifié la nutrition des cépages, notamment l'assimilation en éléments minéraux comme le potassium, le phosphore et autres.

2.4.1.4.3. Entretien du sol et enherbement

La culture à l'herbe est une des pratiques culturales utilisées par les viticulteurs, elle a pour objectif principale de réduire le niveau de vigueur du système végétatif dans le but d'améliorer la qualité des fruits (Coulon & Barbeau). En effet il se développe une compétition entre le raisin et l'herbe pour les éléments minéraux (Coulon & Barbeau). Cette pratique rend dans certains cas certains éléments beaucoup plus assimilable par la vigne compte des interactions existant entre ces derniers et dans d'autres cas est à l'origine d'un effet dépressif à cause d'une trop forte concurrence entre la vigne et l'herbe pour les éléments minéraux (Hamza, 2017).

Revue de littérature

Une étude réalisée en Sierre dans le but de comparer trois modalités d'entretien du sol (enherbement à 75%, à 35% et à 100%) a révélé au niveau des analyses végétales qu'il n'y avait aucune différence au niveau de la concentration en potassium par rapport aux variantes d'enherbement ou non mais ont observé des différences pour certains éléments comme le Magnésium. Cependant les variantes d'enherbement ou non peuvent avoir des impacts sur d'autres paramètres au niveau des grappes, qui sont étroitement liés à la concentration en potassium (Lévite & FiBL).

2.4.1.5. MODE DE CONDUITE

2.4.1.5.1. Densité de culture

En viticulture la densité de plantation traduisant l'espace entre les vignes est utilisée pour optimiser le rapport entre la production végétative et le standard de production. En effet l'équilibre de ce rapport est important pour l'assurance de la qualité car le niveau d'absorption des éléments minéraux par la vigne notamment le potassium dépend aussi la densité de culture (Valenti, Tonni, & Cisani, 1995).

2.4.1.5.2. Effeillage, éclaircissage

Les pratiques culturales d'éclaircissage, d'effeuillage se basent sur un compromis par rapport au rendement mais ayant pour objectif la recherche de la qualité des grappes. Ces pratiques en effet réduisent la vigueur de la vigne et assure une meilleure qualité des raisins.

L'effeuillage est un traitement d'été effectué plus particulièrement en vue de maximiser les paramètres de rendement tout en s'assurant de la qualité des fruits. En effet l'effeuillage affecte le rapport feuille/fruit. Cette élimination des feuilles est important pour s'assurer d'un équilibre entre charge de culture et la croissance (Ateş, Ünal, Takma, & Altındışli, 2016). Ces pratiques influencent l'assimilation et le flux de transport du potassium au niveau de la plante et de ce fait agissent sur la composition des baies par une modification l'activité photosynthétique due à une diminution de la surface foliaire qui (Ateş et al., 2016). Selon certains auteurs l'effeuillage aide à réduire le niveau d'acidité titrable, le niveau de sucre, ce qui est un traitement pouvant être appliquée pour certains cépages trop acides.

Revue de littérature

2.4.1.5.3. Conduite de Taille

La taille est une technique utilisée pour faire face aux impacts de climats particuliers, elle est une technique de défense particulièrement appliquée contre les gelées et est basée sur l'alimentation préférentielle des bourgeons terminaux, phénomène connu sous le terme d'acrotonie. Il existe différentes modalités de taille (Perraud, 1896) :

- **Le Guyot qui peut être en système simple, en système mixte ou double à court bois**

Dans le premier cas c'est un système composé d'un seul bras dans le prolongement du tronc avec une baguette à sept bourgeons et un courson à deux bourgeons. L'ancienne baguette est éliminée chaque année et on laisse pousser sur l'ancien courson une baguette et un nouveau courson.

Le second cas constitue en une souche composée d'un tronc de 50 cm divisée en deux bras. Un bras composé d'une baguette de sept bourgeons environ et d'un courson muni d'un bourgeon. Tandis que l'autre bras est composé d'un courson à deux bourgeons. Chaque année une ancienne baguette est supprimée et on laisse pousser un courson, alors que sur l'autre bras on laisse pousser une baguette et un courson et ainsi de suite.

Le dernier cas consiste en un système composé d'un tronc de 30 à 40 centimètre divisé en deux bras portant chacun un demi baguette muni de trois à quatre bourgeons, et d'un courson muni d'un à deux yeux.

- **Le système en gobelet**

C'est un système de taille courte composé d'un tronc muni de trois à quatre bras avec deux bourgeons chacun

- **Le Cordon Royat**

C'est un système de taille courte qui associe le cordon simple et le cordon double. Ce système en effet composé d'un tronc de 80 cm pour le cordon simple et de deux troncs de 40 cm pour le cordon double. Les deux sont maintenus sur un fil à une hauteur de 50 cm.

2.4.1.5.4. Systèmes de treillis

Les systèmes de treillis sont des structures de forme variable selon le type qui servent de support à la vigne. La forme d'un système de treillis dépend de la taille et de la et de la densité de culture.

Revue de littérature

Selon certaines études, les impacts du gel peuvent être réduits en fonction du système de conduite (les modalités de taille et les systèmes de treillis) utilisée. Et de ce fait l'assimilation en potassium est plus ou moins affectée.

À côté de ces facteurs influençant la teneur en potassium des grappes d'autres facteurs interviennent à l'échelle de la vinification sur le teneur en potassium des mouts.

2.4.2. POTASSIUM AU NIVEAU DES MOULTS ET VIN (Analyse IRTF)

Le mout constitue un mélange de rafle, de pellicule, de pulpe et de pépins issus du broyage ou du foulage des grappes. Il est composé d'éléments minéraux comme le potassium, le calcium, l'azote, le phosphore etc. et aussi d'acides organiques constituées en majeure partie d'acides malique et tartrique.

En effet, l'acide tartrique en présence de certains minéraux plus précisément le potassium a la propriété de se précipiter (Dubernet et al., 2015) ; de ce fait dans un mout lorsque le niveau d'acide tartrique est élevé et le niveau de potassium faible l'acidité reste élevée, à l'inverse si le niveau de potassium est élevé l'acidité du mout sera faible du fait de la précipitation de l'acide tartrique (A.O.C, 1998). Le contrôle de l'acidité du vin revient à contrôler le niveau de potassium au niveau des mouts qui est un paramètre déterminant de la qualité de celui-ci.

	N total	N minéral	P	K	Mg	K/Mg	Ca
Cépages rouges	250 à 350	?	100 à 150	1800 à 2200	40 à 60	30 à 40	40 à 60
Cépages blancs	200 à 300	≥50		1400 à 1600		20 à 30	

Figure 6 : Valeur souhaitable (mg/L) de la teneur en élément minéraux de mouts (Soyer, 1999)

Revue de littérature

La teneur en potassium au niveau des mouts varie en fonction du stade de récolte des rappes (niveau de maturité) et du type traitement appliqué au cours de la transformation des grappes. Ainsi on peut identifier comme facteur ; la méthode d'extraction du contenu de grappes, la technique de macération (cas des cépages rouges) etc.

2.4.2.1.NIVEAU DE MATURITE DES GRAINES

La maturation des raisins est importante afin de déterminer la date des récoltes, pour s'assurer d'un potentiel technologique optimale. La teneur en potassium et de magnésium et des autres éléments varient en fonction du degré de maturité des baies (MEISTERMANN & GUERIN-SCHNEIDER). Ce paramètre est étudié dans la mesure où cette dernière a des impacts sur les processus de vinification par rapport à la teneur en cation au niveau des baies notamment la concentration en potassium en raison de son interaction avec les acides tartrique et malique. D'après des études on constate que la teneur en cation des baies augmente de façon générale à maturité. Selon la variété les baies mures contiennent 15 fois plus de potassium par rapport au baies vertes (Chardonnet, 1992).

De sorte que dans certains cas le potassium au niveau des grappes est utilisée comme indice de maturité. Car en vue de s'assurer une acidité acceptable des mouts qui en découleront, le dosage du potassium est effectué au niveau des graines. Plus sa teneur est élevée plus les graines doivent être ramasser plus tôt. Le niveau de maturité influence la teneur en potassium des mouts dans le sens qu'en fonction de ce dernier les graines au départ sont plus ou moins riches en potassium.

2.4.2.2.METHODES D'EXTRACTION DU CONTENU DES BAIES

Généralement on utilise trois méthodes pour l'extraction du jus des raisins.

- **Hélice de broyage**
- **Extraction mécanique**
- **Fouillage**

D'après une étude réalisée sur ces trois systèmes d'extraction, le teneur en potassium des mouts n'exprime pas de différence pour les trois méthodes (Davaux, Dias, & Midi, 2003) mais exprime cependant des variations au niveau de la concentration.

2.4.2.3. TECHNIQUES DE MACERATION (CAS SPECIFIQUE DU VIN ROUGE)

La macération et le sulfitage, débourage sont des opérations utilisées avant la fermentation. De manière générale la concentration en potassium a tendance à varier au cours de ces opérations (Flanzy, Samson, Boulet, & Escudier, 2001). Ce procédé est utilisé dans le traitement des cépages rouges en industrie vinicole et est réalisé après l'extraction du contenu des baies. Dans le cas du vin blanc le pressurage est effectué immédiatement après le foulage il ne subit donc pas de macération.

Il existe différents techniques de macération, qui affectent la teneur en élément en potassium des mouts. On en distingue en effet plusieurs types tel:

Macération carbonique (CARB)

Le vendage est éraflé, foulé et mise dans une cuve de macération hermétique et estensemencé de levure afin de faciliter l'écrasement naturel. L'ajout de CO₂ est ensuite effectué et le mout est laissé macéré pendant 36 heures.

Macération préélémentaire à chaud suivie d'une vinification en phase liquide (MPC)

C'est une méthode de macération qui consiste à chauffer le vendage au préalable puis à la presser et à clarifier le mélange à l'aide d'un débourage statique au froid en utilisant des enzymes de clarification. Le mout est ensuite mis à fermenter en phase liquide.

Macération préfermentaire à chaud suivie d'une vinification en phase solide (MPCSO)

Ce procédé consiste en un préchauffage des baies à 70°C pendant deux heures suivi d'un pressage et d'une clarification. Le mout subit ensuite une fermentation en phase solide.

Macération préfermentaire à froid (MPF)

Pour cette technique le vendage est d'abord refroidi à 4°C et conservé à cette température pendant 72 heures. Après broyage, on a effectué une macération des mouts qui consiste en un réchauffage de la cuve suivi d'un ajout de levures lorsque la température est au-dessus de 15°C.

Revue de littérature

Macération courte (COURT)

Cette une macération dans lequel le vendage est fermentée pendant 5 jours à 25°C sans aucun préchauffage ni ajout de CO₂.

Les résultats de leurs impacts sur la concentration en potassium seront présentés plus bas.

2.4.2.4.PRESSURAGE ET FILTRAGE

En générale le pressurage immédiat après broyage pour les vins blanc limite l'extraction du potassium contenu dans la peau et dans les pulpes. Le cas contraire est observé pour le vin rouge, qui n'est pas immédiatement filtré après broyage des grappes, la totalité du potassium est donc extraite et passe en solution au cours de la macération.

Cependant pour un même type de vin les procédés de pressurage filtrage différent ainsi on distingue des vins de goutte et des vins de presse. Ce qui fait varier la quantité de potassium dans les vins.

2.5.INFLUENCE DU POTASSIUM SUR LES PARAMETRES DE QUALITE

On définit la qualité œnologique des raisins en fonction des mesures effectuées au départ à la cours de la maturation. En effet la qualité du raisin dépend de la constitution chimique et biochimique à savoir en élément minéraux, en tanins et composés phénoliques, en sucres et aussi de l'acidité de cette dernière. Ces paramètres mesurés permettent de ne pas les récolter prématurément et de s'assurer de la qualité du vendage de laquelle dépend la qualité du vin. Les deux paramètres influençant les plus non seulement le processus de vinification mais aussi la qualité finale du vin est le pH et la teneur en sucre mesurée par le taux de slides solubles (TSS). Ces derniers dépendent à leur tour du niveau de potassium accumulé dans les grappes. C'est ainsi qu'en fonction de différents niveaux de potassium au départ au niveau des grappes, ensuite au niveau des mouts avant la vinification, que différents types de vin sont produits.

2.5.1. RELATION ENTRE LE POTASSIUM ET TENEUR EN SUCRE DES GRAPPES

L'accumulation en sucre des baies se fait en même temps que l'accumulation en potassium (Dubernet et al., 2015). Selon certains auteurs le potassium participe même à la translocation de

Revue de littérature

cette dernière. De ce fait un niveau élevé en potassium dans les grappes est souvent accompagné d'un niveau de sucre élevé qui peuvent donner au final des vins trop alcooliques. Selon MPELASOKA et al. (2003) pour citer Freeman et Kliewer 1983, pour les vignes irriguées, la relation entre le potassium et la teneur en sucre des grappes peut être décrite par l'équation suivante :

$$Y = 11.44 + 5.87x - 0.41x^2 + 0.012x^3 \quad (r^2 = 0.96^{**})$$

Y : Taux de solides solubles (°Brix)

x : Concentration en potassium (mmol/L)

D'autres études telles que celles de Williams et al. 1987, Rühl et al. 1988, Bravdo and Naor 1996, Costantini et al. 1996, Walker et al. 1998, Esteban et al. 1999, Cavallo et al. 2001, cités par MPELASOKA et al. (2003) décrivent des relations positives entre la teneur en sucre et la teneur en potassium des baies en fonction de facteurs variétaux et des conditions de culture variables (fig.5) mais avec un coefficient de corrélation plus faible que celle de Freeman et Kliewer ($r=0,33$).

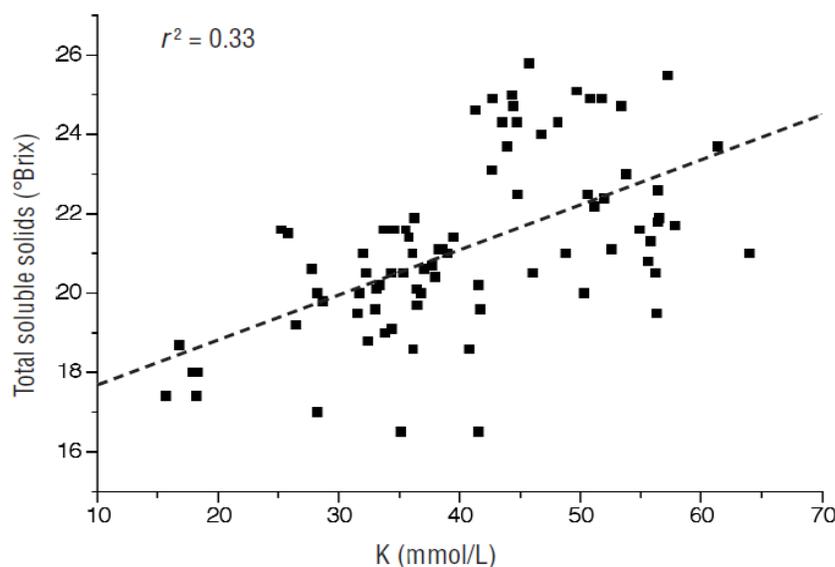


Figure 7: relation entre la teneur en potassium et le Taux de solides solubles (TSS)

Revue de littérature

2.5.2. RELATION ENTRE POTASSIUM ET LE PH DES VINS

Le pH est un facteur important de qualité des vins, il exerce une influence sur le déroulement de la fermentation malolactique et la susceptibilité à la contamination microbienne (Renouf, 2006). Il joue aussi un rôle important dans l'acidité du goût. Le niveau de pH varie en effet en fonction du niveau de potassium dans les mouts par la capacité de précipiter avec l'acide tartrique.

Des études empiriques ont décrit les relations entre la concentration en potassium et la concentration en ion hydrogène. C'est le cas des études de Wejnar (30,31) en 1971 et Somers (25,26) en 1975 Et 1977 cité par Boulton (1980).

- Wejnar a trouvé une relation linéaire entre le niveau de potassium et la concentration d'ion hydrogène libre Dans 32 jus (30) et dans 50 vins (31) de plusieurs variétés cultivées en Allemagne. (Fig.6) (Eqn III), décrite par l'équation :

$$[Z^+] = A + B [H^+]$$

Où A et B sont des constantes empiriques

- Un autre Chercheur, Somers décrit la relation inverse entre la concentration en potassium et le niveau de pH au niveau de 75 vins rouge Australiens par l'équation suivante (fig. 6) (EqnIV et V) :

$$[K^+] = (A' + B') / [H^+]$$

A' and B' sont des constants empiriques.

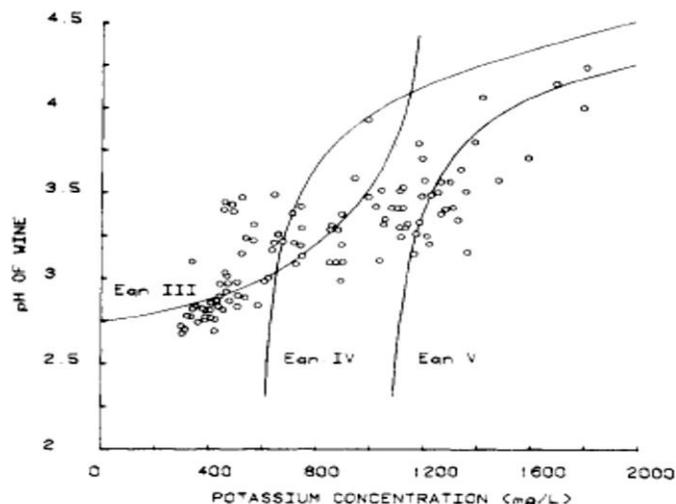


Figure 8: relation entre la teneur en potassium et le pH des vins (Boulton, 1980)

Avec :

Eqn III : Vin en général (selon Wejnar)

Eq IV : vin de table en général (Selon l'équation de Somers)

Eq V : Vin rouge (selon Somers)

Comme décrite, la concentration en potassium des grappes et des mouts dépendent de nombreux facteurs tant au niveau naturel, biologique, cultural et vinicole qu'il est important d'en évaluer l'étendue. Ce dont nous nous proposons de voir dans les pages qui suivent.

III. METHODOLOGIE GENERALE

3.1. COLLECTE DES DONNÉES EXPÉRIMENTALES

Pour la réalisation de cette étude il a fallu se référer à plusieurs travaux de recherche (articles, mémoires, thèses, etc.) en rapport au sujet afin de prélever les résultats sur la concentration en potassium, analyser et présenter les facteurs d'influence d'une part au niveau des grappes et d'autres part au niveau des mouts et enfin mettre l'emphase sur les potentialités œnologique de ces derniers. En effet des travaux de recherches de divers chercheurs nationales ou internationales (France, États-Unis, Italie) réalisées en laboratoire ont été consultées dans le cadre de l'étude. Le nombre d'unité expérimentale est variable en fonction du facteur étudié. Parmi les travaux retenus pour analyse nous pouvons catégoriser par classe facteurs :

- Expérience sur l'impact du climat, de la variété et du type de sol
- Expérience sur l'impact de la variété et du greffage
- Expérience sur l'impact de la fertilisation
- Expérience sur l'impact de l'effeuillage
- Expérience sur l'impact de la densité de culture et des systèmes de treillis
- Expérience sur l'impact de la conduite de taille entretien du sol
- Expérience sur la macération (cas des cépages rouges)

3.2. CONDITIONS GENERALE DE REALISATION POUR CHAQUE ETUDE

3.2.1. ÉTUDE SUR LE CLIMAT, LA VARIÉTÉ ET LE TYPE DE SOL

L'étude de Van Leeuwen et al. (2004) réalisée entre 1996 à 2000 à Bordeaux sur trois vignobles de Saint-Emilion concerne l'influence du climat, du type de sol et de la variété sur le développement de la vigne et sur la composition des grappes. En effet elle met en évidence trois facteurs d'influence de manière simultanée.

- Pour la mise en évidence de l'impact des facteurs climatique, l'expérience a été réalisée sur 4 années consécutives en prélevant l'ensemble des données climatiques (températures, pluviométrie, degré d'ensoleillement) pour chaque année à partir d'une station météorologique. Les données concernant les facteurs climatiques sont présentées en annexe 3.

Méthodologie

- On a utilisé pour l'étude du facteur variétal, trois variétés de cépages différentes à savoir le Merlot (clone 181), le Cabernet sauvignon (clone 191) et le Cabernet Franc (clone 326) greffées sur le 3309 C.
- La mise en évidence de l'impact du type de sol a été réalisée dans cette étude par la culture des vignes sur trois types de sol différents. Un sol de type graveleux contenant plus de 50% de gravier, de terre fine composée de sable, la capacité de rétention de ce sol en eau était de 40mm. La profondeur d'enracinement de la vigne a été limitée à 1.2 m par une couche imperméable. Un autre sol très argileux a été expérimenté dans le cadre de cette étude. La quantité d'argile était de plus de 60% pour une profondeur de 0.3 à 0.6 m. La capacité de rétention en eau était de 168 mm. Enfin un sol de type argilo-sableux a été mis à l'étude, pour une profondeur inférieure à 1m. Aucune capacité de rétention en eau du sol n'a été mesurée car la disponibilité en eau pour l'alimentation de la vigne était illimitée et se faisait à partir de la nappe phréatique étant donné que cette dernière était proche de la surface tout au long de la saison. La profondeur d'enracinement des vignes était de 1.35m.

La culture de la vigne a été effectuée sur les trois types de sol avec une densité de plantation de 1.2m X1.4 m. Les vignes ont été conduites en Guyot simple.

L'analyse sur la composition des baies a été réalisée à partir d'un prélèvement de 800 baies par parcelle. L'échantillonnage a été réalisé une fois par semaine de la véraison à la récolte sur deux rangées intérieures. Les échantillons ont été pressés à 0.5 MPa dans un système de micro presse pneumatique (Bellot, Gradignan, France). La teneur en potassium exprimée en g/L a été déterminée par spectrophotométrie.

L'expérience a été réalisée selon un dispositif en parcelle divisée, les grandes parcelles représentées par les types de sols et les sous parcelles par les variétés. Les logiciels utilisés pour l'analyse statistique de cette étude sont le Grimmssoft, StatBox and Microsoft Excel (Redmond, WA). La comparaison des moyennes a été effectuée à l'aide d'un test de Newmann-Keuls ($p < 0.05$).

Méthodologie

3.2.2. ÉTUDE SUR L'EFFET DE LA VARIÉTÉ ET DU GREFFAGE

a) Cas de cépages *Vitis vinifera* (Walker et al., 1998)

L'étude a été réalisée en Australie Sud où on a utilisé des raisins provenant de la culture de cinq variétés différentes, dont le Muscat, Shiraz, Riesling, Cabernet Sauvignon et le Chardonnay. L'impact du greffage, particulièrement par rapport à l'effet greffon, a été mis en évidence en utilisant deux modes de culture pour les 5 variétés, un mode non greffé culture et un mode greffé sur un porte-greffe Ramsey. La culture a été établie en bloc de 16 vignes, avec quatre (4) répétitions pour chaque variété greffée et non greffée. Les rangs étaient espacés de 3,3m et les vignes de 2.0 m entre eux. L'irrigation a été effectuée par micro jet d'eau.

À la récolte on a effectué le prélèvement de 40 baies (un lot de dix (10) et un lot de trente (30)) au total pour chaque variété, greffée et non greffée. Les lots de dix (10) échantillons ont été ensuite épluchés, et on a effectué la séparation entre la pellicule, la pulpe et les pépins. On a éliminé les traces de tissus pulpeux au niveau des pellicules par un rinçage avec l'eau distillée sur tamis. Pour les lots de 30 on a procédé à l'enlèvement des pépins. Puis les graines, pulpes, les pellicules et les baies sans pépins ont été pesés, congelés et stockés à 20°C.

- Pour l'analyse de la pulpe et des baies sans pépins, les échantillons ont été homogénéisés à l'aide du Sorval Omni-Mixer pendant 30s ; 30 ml de HNO₃ (2N) a été ajouté puis le mélange a été homogénéisé. L'échantillon a été placé dans un bain d'eau à 100°C pendant 30min puis refroidi et centrifugé (2700 g pendant 20 min) et le surnageant a été recueilli. Ensuite, le culot a été agité avec un mélange de 30 ml HNO₃ (1N) et centrifugé comme précédemment. Les deux surnageants ont été mélangés et amenés à un volume standard pour le dosage des ions potassium.
- L'analyse des pépins et des pellicules, se base sur le même procédé que pour l'analyse des pulpes. On a cependant au départ, mélangé les pellicules avec 20ml de HNO₃ (2N) et pour les pépins on en a utilisé 10 ml. Après la première centrifugation, les culots de peau et pépins ont été respectivement lavés avec 10 et 5ml de HNO₃ (1N). On a amené les mélanges des deux surnageants obtenus pour chacun des deux à un volume standard avant d'effectuer l'analyse des ions potassium.

Le dosage des ions potassium a été effectué par spectrométrie d'absorption atomique.

Méthodologie

Le logiciel Genstat 5 version 3.1 a été utilisé pour la réalisation de l'analyse de variance. La comparaison des moyennes a été effectuée en utilisant les plus petites différences significatives ($p=0.05$)

b) Cas de cépages hybrides

- Étude du facteur variétal (Provost, 2013)

L'étude a été réalisée en Abbaye d'Oka en 2008, dans un vignoble expérimental sur lequel 18 cépages rustiques originaires du Minnesota, conduite en Cordon Royat (VSP) 30'', ont été cultivés. Quatre répétitions constituées de dix pieds de vigne chacune ont été distribuées sur le site selon un dispositif complètement aléatoire.

Divers paramètres ont été mesurés, parmi lesquels certains paramètres œnologiques notamment la teneur en potassium, sur des échantillons de baies prélevés de façon aléatoire puis analysés au laboratoire.

Les résultats de ces paramètres sont ensuite analysés à l'aide d'une analyse de variance en présence d'une distribution normale. La comparaison des moyennes a été effectuée à l'aide d'un test de Tukey-Kramer.

- Étude du greffage (Provost 2015)

Une étude sur l'impact du greffage sur les cépages hybrides a été réalisée en Abbaye d'Oka sur un vignoble expérimentale du CRAM. L'effet du greffage a été mis en évidence par l'utilisation de quatre porte-greffes (3309 C, SO4, riparia Gloire, 101-14) utilisés pour six cépages hybrides tels ; Frontenac rouge, Frontenac blanc, Frontenac gris, Adalmina, Baltica et Marquette. Chaque variété de cépages a été combinée aux différents porte-greffes ce qui résulte en un totale de 30 combinaisons différentes. On a effectué 4 répétitions de chaque combinaison, donnant un total de 120 combinaisons implantées en blocs complets aléatorisée sur chacun des deux types de sols (Loameux-graveleux, argileux).

Divers paramètres ont été mesurés parmi lesquels la teneur en potassium au niveau des pétioles afin d'en déceler les carences potentielles. L'analyse statistique de ces paramètres a été réalisée à l'aide d'un modèle linéaire généralisé mixte (GLMM) pour une distribution binomiale.

3.2.3. EFFET DE L'EFFEUILLAGE

(Ateş et al., 2016)

L'étude sur l'effeuillage a été réalisée en Turquie entre 2006 à 2007 dans une entreprise de recherche en viticulture. Avec un climat de type méditerranéen dont les températures sont assez chaudes (30°C). L'expérience a été réalisée selon un dispositif en bloc aléatoire avec 3 répétitions. Le système de treillis utilisé était en forme de T avec 60 bourgeons par vigne, avec une densité de culture de 3.3X2.4m. La variété de cépage utilisée était le Sultani.

Les traitements consistent à tester l'effet de 4 niveaux d'enlèvement de feuilles sur deux périodes de développement du raisin.

Les dosages des ions ont été effectués dans une série d'analyses réalisées à l'aide d'un ICPAES Spectroscopie parmi lesquels le potassium, qui consiste à:

- Prélever un échantillon de 10 g que l'on place dans un creuset
- Sécher les échantillons à 100°C
- Réduire les échantillons en cendre en les portant à 250°C pendant 13-15h
- Procéder à une extraction avec acide 6 ml (HCL+HNO3) et 50 ml d'eau distillée
- Dilue l'échantillon dans un basson de 100 ml (facteur de dilution 10)
- Procédé au dosage par spectrométrie

Les résultats obtenus ont été analysés statistiquement à l'aide d'une analyse de variance avec le logiciel SPSS 20.0 et la comparaison des moyennes a été réalisée à l'aide d'un test de Tukey ($p < 0.05$).

3.2.4. EFFET DE LA FERTILISATION

L'effet de la fertilisation a été mise en évidence par Raath (2012) à travers une étude titrée EFFECT OF VARYING LEVELS OF NITROGEN, POTASSIUM AND CALCIUM NUTRITION ON TABLE GRAPE VINE PHYSIOLOGY AND BERRY QUALITY.

L'expérimentation a été réalisée entre 2006 à 2009 dans un vignoble commercial micro irrigué, sur un sol avec une texture sableuse contenant 5% d'argile et peu irrigué. La culture du *Vitis*

Méthodologie

vinifera L. a été mise en place en sur un porte-greffe Ramsey avec une densité culturale de 1,8X 3m.

L'engrais a été appliqué au total six (6) fois durant la période de culture, soit deux (2) fois avant la floraison, trois (3) fois avant la véraison et une (1) fois avant la récolte. Les traitements consistent en effet en la combinaison de différents doses « azote, de calcium et de potassium » appliqués chaque année ; comme décrits selon le tableau 2.

Le dispositif expérimental a été mis en place sous forme de bloc complet aléatoire constitué d'unité expérimentale de quatre rangées de quatre vignes chacune et avec cinq répétitions pour chaque traitement.

Tableau 2: Traitements de fertilisation appliqués (Raath, 2012)

Traitement	Total nutriment appliqué (kg/ha)		
	N	K	Ca
Control	70	60	10
Ca-Bunch¹	70	60	10
N²	210	60	10
K³	70	180	10
Ca⁴	70	60	150
Kca⁵	70	180	150
Nca⁶	210	60	150

¹ Mélange de 8L/ha de Stopit plus 5 L de Caltrac, applique directement aux grappes toutes les deux semaines à partir de la véraison (trois applications). 10kg de Ca/ha a été appliqué.

² LAN (28%) a été utilisé comme source d'azote

³ KCl a été utilisé comme source de K

⁴ Le gypse (CaSO₄) a été utilisé comme source de calcium de 2006 à 2008, le CaCl a été utilisé en 2009

⁵ Combinaison de KCl et de CaSO₄ utilisé comme source de K et de Ca de 2006 à 2008, tandis que le CaCl₂ a été utilisé à la place du CaSO₄ en 2009

⁶ Combinaison de CaNO₃, de LAN et de CaSO₄ comme source de N et de Ca de 2006 à 2008, tandis que le CaCl₂ a été utilisé au lieu du CaSO₄ en 2009.

Les traitements ont été appliqué chaque année au même niveau pour les trois premières années à l'exception de la dernière année où le traitement Nca n'a pas été appliqué.

Méthodologie

L'échantillonnage a été effectué en prélevant au hasard dans quatre grappes de chaque vigne expérimentale (rangées intérieures) ; 3 baies (haut, milieu, bas) constituant des échantillons d'au moins 48 baies. Pour l'analyse chimique des baies de chaque échantillon, celles-ci ont été prélevées puis coupées à la base des pédicelles. Les baies ont été ensuite rincées à l'eau distillée, pelées, puis les pulpes et les pellicules ont été conservés à 20°C. Les échantillons ont été ensuite fractionnés en deux portions, pour la détermination de la teneur totale en azote par combustion totale sur un analyseur Leco N, et la deuxième partie de l'échantillon est utilisée pour l'analyse de la teneur en élément minéraux (potassium), par moyen d'ICP-OES, après extraction avec HCL 0.5 M (Raath, 2012) pour citer Isaac & Johnson (1998).

L'analyse de variance a été réalisée à l'aide des logiciels Genstat 1.2 et SAS. Les différences entre les moyennes des traitements et des saisons ont été mises en évidence par un test de Student ($p \leq 0.05$).

3.2.5. ESPACEMENT ENTRE RANGS ET DES SYSTÈME DE TREILLIS (Mark Kliewer, Wolpert, & Benz, 1997)

L'expérimentation a été réalisée entre 1988 à 1995 sur une parcelle à Oakville de l'Université de Californie, Davis Département of Viticulture and Enology. L'irrigation a été assurée par un système de goutte à goutte installé en 1988, et muni d'un émetteur de 4 L/h placé dans chaque rangée. La culture a été mise en place en mai 1989 sur un sol de type argileux et est constituée du Cabernet Sauvignon greffé sur deux porte-greffes différents (110R et 036-16).

Pour mettre en évidence l'effet du mode de conduite, la parcelle expérimentale est composée de six systèmes de treillis non répliqués identifier comme suit :

- Deux systèmes de treillis divisés verticalement : Scott-Henry (SH) et TK2T
- Trois systèmes divisés horizontalement : GDC, Lyre et V-treillis
- Un système de treillis verticale non divisé : Vertical

Les descriptions de ces systèmes sont présentées en annexe 1

Chaque système est composé de deux rangées de 36 vignes greffées. Pour chaque système de treillis six traitements d'espacement a été appliqués à raison de trois traitements (1,2, et 3m) par porte greffe distribués dans une rangée. Les 36 traitements résultant du niveau d'espacement, du

Méthodologie

porte-greffe et du système de treillis ont été répété 4 fois et distribué selon un dispositif en parcelle divisée composé de six sous parcelles (verticalement et horizontalement).

Pour l'analyse chimiques 200 baies ont été collectées aléatoirement de chaque répétition de traitement, les indices de rendement ont été calculées (poids moyen, nombre de baies par grappes). Les échantillons ont été ensuite broyés, filtrés à travers la gaze de filtration, les paramètres chimiques ont été déterminés, le potassium a été dosé selon la méthode décrite par Kliewer et Lider, 1970 ; Kliewer et al., 1988 cité par (Mark Kliewer et al., 1997).

Les traitements statistiques ont été réalisés à l'aide du logiciel SAS. Un modèle linéaire généralisé a été utilisé pour l'analyse de variance.

3.2.6. EFFET DE LA CONDUITE DE TAILLE

a) Cas de cépages *Vitis vinifera*

Une étude sur les modalités de taille d'hivers a été réalisée par PIREZ, de Mémoire, and GATTI (2014) en Italie entre 2009 à 2014. Cette étude a été réalisée sur deux parcelles cultivées en Pinot noir situées respectivement à Rosciano (PE) et à Ofena (AQ).

- Parcelle Ofena

La parcelle Ofena est une parcelle orientée Est-Ouest avec une pente nulle. La culture du Pinot noir greffée sur le 420A, en guyot simple, a été mise en place en 2009, avec un espacement entre les rangs de 2,50m et entre les plants de 0,83m. Cinq modalités de taille (traitements) d'hivers ont été mises à l'étude en 2014, les données ont été recueilli sous la base d'expériences précédentes ainsi qu'en tenant compte de principes physiologiques :

GHAH : taille d'hiver en Guyot simple avec raccourcissement et accolage immédiat

GHAV : Taille d'hiver en Guyot simple, associée à raccourcissement et un accolage effectué après le débourrement

GVAV : taille printanière en Guyot simple avec accolage immédiat

CV : Taille courte printanière et conversion à Cordon Royat

CH : Taille courte d'hiver et conversion à Cordon Royat

Méthodologie

Les traitements ont été distribués selon un dispositif en bloc randomisé contenant trois (3) blocs (rang) de 270m contenant 21 pieds de vigne par combinaison « blocs X traitements ».

- Parcelle Rosciano

C'est une parcelle orientée est-ouest avec les mêmes caractéristiques du point de vu topographique que la parcelle Ofena, l'utilisation de la même variété et du même porte-greffe a été fait. La culture a été cependant mise ne place en cordon Royat. L'essai est réalisé en 2014, pour vérifier l'efficacité des modalités de taille par comparaison aux résultats obtenus pour la parcelle Ofena. Trois modalités de tailles ont été mises à l'étude :

CH : taille courte d'hiver

CpD : taille courte pré-débourrement

CV : taille courte printanière

Les traitements ont été distribué en dispositif randomisé au niveau de trois (3) bloque. Chaque bloc représentant 28 m de longs, a été associe à un traitement différent.

Pour les deux parcelles, le suivie météorologique ainsi que le suivi du cycle végétatif a été réalisé. Le suivi de la maturation ainsi que la collecte des données sur les paramètres chimiques ont été effectué dès la véraison, pour la parcelle Ofena à partir de 28 juillet 2014 jusqu'au 24 septembre, et pour la parcelle Rosciano à partir de 28 juillet jusqu'au 31 aout.

Pour se faire, à chaque date correspondant, 100 baies ont été prélevées sur chaque parcelle et ont été ensuite pressées pour l'analyse chimique du Taux de solide solubles (TSS), Acidité totale (TA) et aussi du pH des mouts qui en découlent.

La détermination de la composition des raisins a été effectuée selon la méthode suivante :

- Prélèvement d'un échantillon de 3 grappes par cépages ;
- Pesage de 50 baies saines avec pédicelle pour chaque échantillon ;
- Broyage a l'Ultra-Turrax (20000 r.p.m).
- Prélèvement de deux grammes d'homogénéisât et mélanger avec 10ml d'alcool (50%)
- Centrifuge (3500 r.p.m, 5 mn)
- Mélanger une portion de 0,5 ml de surnageant avec 10ml de HCl 1M

Méthodologie

- Conserver à l'abri de la lumière pendant 3 heures.

Dans le cas qui nous concerne la concentration en ions potassium du mélange a été mesurée par photométrie (grisoon GLP22) cité par (PIREZ et al., 2014).

Les données ont été traitées à l'aide d'une analyse de variance et les moyennes comparées en utilisant un test de Student à un seuil de 5%.

b) Cas des cépages hybrides (Provost, Bastien, D'Hauteville, & Œnologues, 2014)

L'étude est réalisée sur un vignoble expérimental situé en Abbaye d'Oka. Quatre variétés de cépages hybrides plantées en 2008 ont été utilisées (Frontenac, Louise Swenson, Marquette et St-Croix). Chacun ayant des niveaux de fertilité de vigueurs et de temps de maturation différentes. Les traitements concernent les différents niveaux de taille et de charge, décrits dans le tableau 3, ont été distribués selon un dispositif en bloc complet aléatoire sur deux (2) parcelle de 5 plans de vignes chacun.

Tableau 3 : Traitements appliqués aux plants de vigne pour les quatre cépages (Provost et al., 2014)

Traitements	Nombre de bourgeons	Mode de conduite
T1-8B	8	Top Wire Cordon 60''
T1-12B	12	Top Wire Cordon 60''
T1-16B	16	Top Wire Cordon 60''
T2-8B	8	Cordon Royat (VSP) à 30''
T2-8B	12	Cordon Royat (VSP) à 30''
T2-8B	16	Cordon Royat (VSP) à 30''
T3-8B	8	Cordon Royat (VSP) à 18''
T3-12B	12	Cordon Royat (VSP) à 18''
T3-16B	16	Cordon Royat (VSP) à 18''

Méthodologie

Les paramètres agronomiques ont été mesurés pour chacun des traitements. Il en est de même pour les paramètres œnologiques. Lesquels les paramètres chimiques en rapport à la teneur en élément minéraux ont été mesurés par l'analyse des mouts. L'analyse a été conduite par deux œnologues M. Richard et M. Jérémie d'Hauteville en collaboration avec des professionnel de recherche du CRAM.

Les résultats obtenus ont été analysés séparément pour chacun des cépages en utilisant une analyse de variance à deux critères de classification selon une procédure Glim Mix.

3.2.7. EFFET DU TYPE MACÉRATION

L'impact de la macération a été mis en évidence à travers l'étude de (Geffroy et al., 2013) titrée **Incidence de cinq techniques de macération sur les caractéristiques analytiques, aromatiques et sensorielles des vin rouges.**

Cinq modalités de macération comme décrites précédemment au point 2.4.2.3 ; à savoir le CARB, MPC, MPCSO, MPF, COURT ont été mises en œuvre sur un lots de vendages homogènes de Carignan, de Grenache et de Saverdou récolte à deux niveaux de maturités. L'expérience a été réalisée en présence d'un traitement témoin TEM dont la préparation consiste à l'étalage, le foulage, le sulfitage (4g/hl) et le levage (20g/hl) suivi d'une macération à 25°C pendant 8 jours.

Les paramètres œnologiques classique ont été suivis par l'IFV, parmi lesquels le dosage du potassium a été effectué.

3.3. EXTRACTION DES DONNÉES DES TRAVAUX ANTÉRIEURES

3.3.1. APERÇU DU PROGRAMME DATA THIEF

Le logiciel Data thief a été utilisé dans le cadre de ce travail afin d'extraire certaines données et de réaliser les graphiques présentés dans la section des résultats. Ce logiciel est un programme à langage Java qui permet d'obtenir les valeurs approximatives d'un ensemble de points d'un graphique à partir d'un fichier de format GIF ou PNG. Le principe se base sur l'utilisation un système d'axes muni des repère (origine, abscisse et ordonnée) sur laquelle on distribue des indicateurs afin d'obtenir les coordonnées (x, y) des points recherchés.

Méthodologie

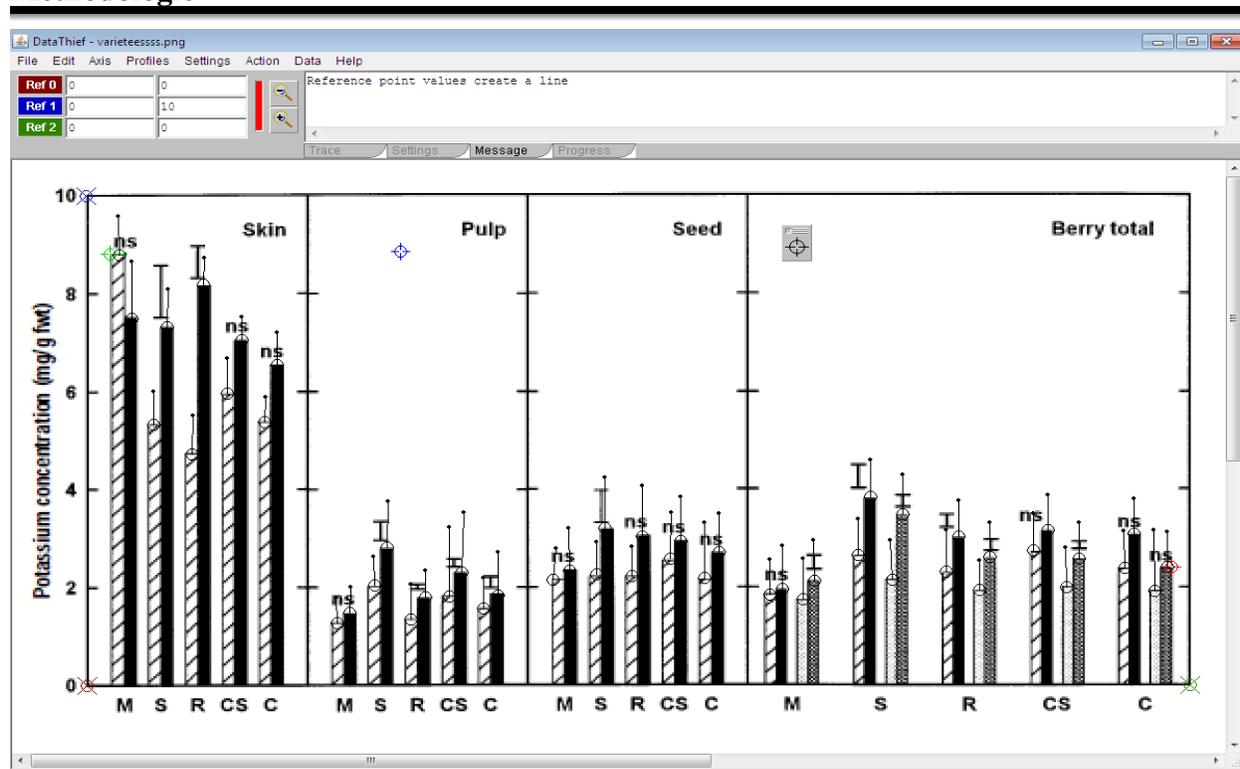


Figure 9: Fenêtre d'extraction de données avec le logiciel Data Thief

Pour procéder à l'extraction des données il suffit de :

- Ouvrir le fichier GIF ou PNG avec Data thief
- Placer les indicateurs de repérage
- Placer les indicateurs de mesure



: Indicateur d'origine du repère : **Référence 1**(0,0)



: Indicateur de l'axe des ordonnées : **Reference 2** (0,10) dans cet exemple



: Indicateur de l'axe des abscisses : **Reference 3** (0,0)



: Indicateur du début de plage de donnée

Méthodologie



: Indicateur de fin de plage de donnée



: Indicateur de lecture des données



Indicateur de mesure

-Procéder, à la lecture des valeurs en faisant glisser le curseur sur chaque point à mesurer

IV. RESULTATS ET DISCUSSION

4.1. CLIMAT, VARIÉTÉ ET TYPE DE SOL

Tableau 4 : Composition des baies a la maturité en fonction du type de sol, de la variété et du millésime (Van Leeuwen et al., 2004)

	Sol			Variété ^a			Millésime				
	Graveleux	Argileux	Sableux	M	CF	CS	1996	1997	1998	1999	2000
Paramètres											
Sucre(g/L)	200b ^b	202b	222a	221a	210b	194c	206b	200b	209b	206b	220a
Ph	3.51a	3.42b	3.45b	3.52a	3.42b	3.43b	3.24c	3.49b	3.61a	3.46b	3.50b
AT (g /L)	5.6b	5.9a	5.3b	5.1b	5.3b	6.4a	7.7a	5.0c	4.5d	5.2c	5.6b
Potassium (g/L)	1.87ns	1.83ns	1.87ns	1.95a	1.72b	1.87a	1.99a	1.87ab	1.79b	1.91ab	1.76b

^aM : Merlot CF : Cabernet Franc CS : Cabernet Sauvignon

Les données ont été analysés par ANOVA selon un dispositif en parcelles divisées avec le type de sol comme parcelles principales, les variétés comme parcelles secondaires et les millésimes comme effet bloc. Les valeurs accompagnées de lettres différentes sont significativement différentes selon test de Newman-Keuls ($p \leq 0.05$).

La teneur en potassium mesurée d'après l'expérience concerne la variation en fonction du type de sol de la variété et du millésime. Pour les trois types de sol la teneur en potassium varie de 1.87, 1.83, 1.87 respectivement pour les sols graveleux, argileux et sableux. Ces concentrations en potassium n'expriment néanmoins aucune différence significative entre les types de sol à 5 % de signification. Ceci est dû par le fait que la vigne est une plante adaptée à différents types de sol et peut prélever les éléments nécessaires. On constate néanmoins que la concentration en potassium pour le sol argileux est plus bas que les autres, compte tenu du fait que ce dernier à la capacité de retenir beaucoup plus le potassium que les autres types de sol c'est pour cette raison les carences en potassium chez la vigne peuvent être observées pour les sols trop argileux (Hamza, 2017). De plus on constate que les niveaux de potassium les plus élevés sont corrélés à des niveaux de pH plus élevés et d'acidité totale moins élevés, respectivement de l'ordre de 3.51 et 5.6g/L pour le sol

Résultats et discussions

graveleux et 3.45 et 5.3 g/L. Alors que pour les raisins produits en sol Argileux, la concentration en potassium est moins élevée et les raisins sont aussi plus acides que les autres types de sol.

Les teneurs moyennes en potassium observées au niveau des trois variétés différentes expriment par contre des différences significatives entre deux des trois variétés. Les plus fortes teneurs en potassium s'observent au niveau des variétés Merlot et Cabernet Sauvignon équivalant respectivement à 1.95 et 1.87 g de potassium pour chaque litre de jus de presse. La plus faible teneur en potassium s'observe chez le Cabernet Franc soit de 1.72g/L. En outre, pour le facteur variétal on constate qu'il existe une corrélation positive entre la teneur en potassium et le niveau de pH, mais cette corrélation n'est pas bien définie entre la teneur en potassium et les autres paramètres à savoir concentration en la sucre et l'acidité totale.

Les teneurs en potassium observées en considérant le facteur millésime expriment des différences significative variables. Ces différences résultent de l'influence des facteurs climatiques. Les plus fortes teneurs s'observent pour les millésimes 1996 et 1999. Quand on compare ces observations aux données climatiques enregistrées au cours de la période allant de 1996 à 2000, il est difficile d'établir une relation directe entre ces derniers et la concentration en potassium. Tenant compte que la concentration en potassium a tendance à augmenter avec la température, le niveau d'ensoleillement et l'évapotranspiration (ET) (Malquori & Parri, 1980). On constate cependant que les températures maximales enregistrées étaient pour l'année 1996 entre la floraison et la véraison, de même pour cette année-là l'évapotranspiration et la durée d'ensoleillement journalière étaient supérieures par rapport aux autres années ; c'est ce qui peut expliquer à la fin une forte teneur en potassium finale observée par rapport aux autres années.

Il est difficile d'établir pour les millésimes une corrélation entre les différents paramètres mesurés car les facteurs climatiques variables au cours des années et les interactions entre les éléments présents dans le sol ont des influences qui rendent complexe et imprévisible les résultats.

Compte tenu des teneurs en potassium supérieure à 1000mg/L (1g/L) et même dans certains cas proches de 2 g/L, on peut dire parmi les trois variétés étudiées que le Cabernet franc semble être de meilleur potentiel car ils expriment une teneur en potassium inférieure aux autres, une acidité totale, moyen, un pH inférieur à 3.7 ce qui devrait être idéale pour assurer le déroulement des processus de vinification. Il n'est pas cependant possible de faire une comparaison pour les autres paramètres entre les types de sol et les millésimes à cause des fortes variabilités existant entre eux.

4.2. VARIÉTÉ ET GREFFAGE

a) Cépages *Vitis vinifera*

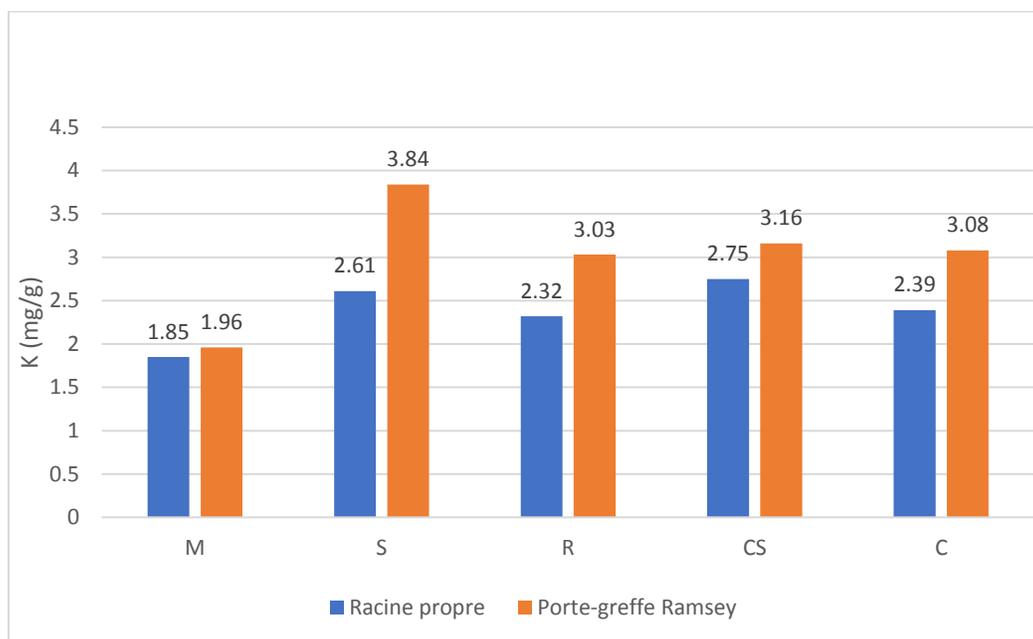


Figure 10: Concentration en potassium des grappes pour le Muscat (M), Syrah (S), Reisling (R), Cabernet Sauvignon et Chardonnay (C), greffés et non greffés (Walker et al., 1998)

Les résultats de l'étude montrent que l'assimilation en potassium se fait de façon différente pour chaque variété. Il existe des différences enregistrées par rapport à la concentration mesurée au niveau des grappes des différentes variétés pour les deux variantes (cépages greffés et cépages non greffés).

En ce qui concerne le facteur variétal proprement dit, les résultats discutés tiennent compte des variétés non greffées afin d'éviter l'expression de l'influence du greffage dans les raisonnements. En effet, les concentrations exprimées en mg/g, les plus élevées s'observent pour les variétés Cabernet Sauvignon (2.75), Syrah (2.62) et le Chardonnay (2.39), ensuite vient le Riesling (2.32) et la plus faible concentration s'observe pour le Muscat. Il n'y a cependant pas de trop forte différence entre de concentration en potassium pour les variétés en culture non greffée.

En culture greffée on observe par contre en comparant les différentes variétés une tendance variée, le Ramsey comme porte greffe amène la concentration en potassium au niveau de la Syrah à 3.84

Résultats et discussions

mg/g, qui est la teneur la plus élevée observée; en deuxième lieu viens le Cabernet Sauvignon (3.16) qui en culture non greffée était à une teneur plus forte en potassium et ensuite le Chardonnay (3.08). La variété Riesling viens avec une concentration moyenne de 3.03 mg/g, la plus faible concentration s'observe au niveau de la variété Muscat (1.96 mg/g).

On constate que l'incidence du greffage varie en fonction de la variété de cépage. Le porte greffe Ramsey a été à l'origine d'une variation considérable de la concentration en potassium. L'incidence de ce dernier sur l'absorption en potassium est plus élevée pour la variété Shiraz avec une variation croissante de la teneur en potassium. Les variations de la teneur en potassium en faisant une comparaison entre la modalité greffée et la modalité non-greffée sont moins significatif pour le Reiling, et le chardonnay que le Cabernet Sauvignon et le Muscat.

On constate de même, dans un cadre général que les concentrations potassiques au niveau des baies sont plus élevées pour les cépages greffés que pour les cépages non greffés. La Syrah, le Reiling et le Chardonnay trois variétés de cépages métis, ont eu des teneurs en potassium relativement moyenne en culture propre, mais le porte greffe Ramsey a eu pour effet d'intensifier l'accumulation en potassium et qui à amener à une augmentation de cette teneur particulièrement chez le cépages Syrah.

b) Cépages Hybrides

- Effet du facteur variétal

Résultats et discussions

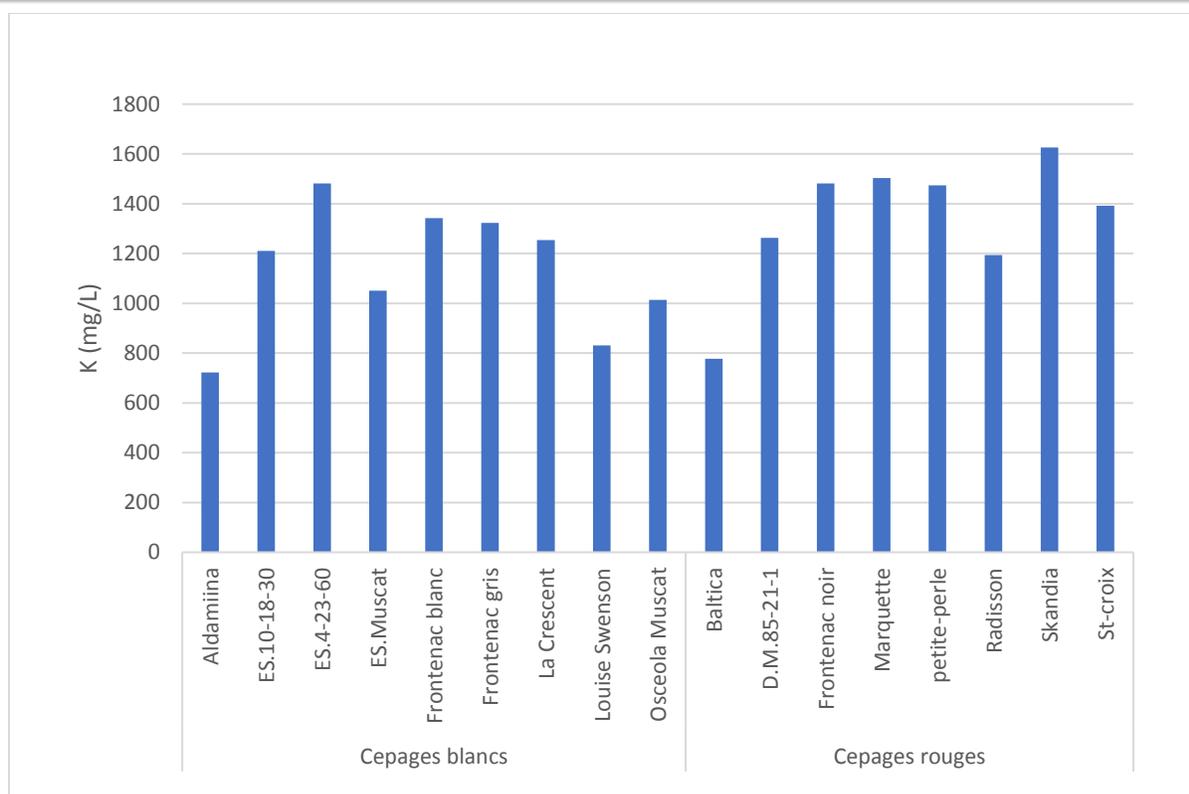


Figure 11: Teneur en potassium des mouts de 17 variétés de cépages hybrides (blancs et rouges) (Provost, 2013)

Il est démontré à travers l'étude que la concentration en potassium varie pour chaque cépage. On constate du côté des cépages blanc que l'ES.10-18-30 est celui dont l'accumulation en potassium est la plus élevée, ensuite viens le Frontenac blanc, le Frontenac gris et la Crescent. La teneur en potassium pour la majorité de ces cépages sont supérieures à 1000 mg/L. Exception faite dans le cas de l'Aldamiina Louise Swenson où l'on a enregistré de faibles concentrations en potassium. Du côté des cépages rouges, la majorité ont exprimé des concentrations en potassium élevées particulièrement pour le cépage Skandia, ensuite viennent les cépages Marquette, Frontenac noir et petite perle. Les faibles concentrations en potassium étaient mesurées seulement au niveau des grappes de la variété Baltica.

Ces fortes teneurs en potassium supérieure 1000mg/L peuvent être à l'origine de problème de qualité (Provost 2013). Compte tenu de la relation existant entre la teneur en potassium et le pH (potentiel œnologiques), les cépages Aldmiina, Louise Swenson et Baltica semble de meilleurs potentiels. Cependant, dans le cas des deux premiers cépages, l'étude réalisée par de Provost semble être contradictoire à cette hypothèse. Étant donné que ces derniers absorbent mal l'azote

Résultats et discussions

du sol, les mouts de ces cépages en sont donc carencés ce qui est à l'origine de problèmes en fermentation malolactique (FML). Par contre, toujours selon Provost, les cépages blancs comme Frontenac blanc, Frontenac gris et ES. Muscat ayant des teneurs en potassium sont comprises entre 1000 et 1400 mg/L, et les cépages rouges comme Frontenac, Marquette et Petite perle ayant des teneurs comprises entre 1400 et 1600 mg/L ; sont identifiés comme étant à fort potentiel œnologique mais nécessitent cependant une désacidification des mouts pour assurer un bon déroulement de la fermentation. Les cépages E.S. 4-23-60 et Skandia sont décrits comme n'ayant aucun potentiel du fait de leur forte teneur en potassium et de leur forte acidité.

Il est ainsi nécessaire de tenir compte d'autres facteurs en plus de la teneur en potassium (l'azote assimilable, l'acidité etc.) pour la catégorisation en termes de qualité organoleptique des cépages. Cependant il est clair que les teneurs en potassium dépassant 1400 mg/L pour les cépages blancs et 1600mg/L pour les cépages rouges sans tenir compte des autres facteurs sont des teneurs dépassant les concentrations optimales assurant un bon potentiel œnologique.

- Effet du greffage (porte-greffe et greffon)

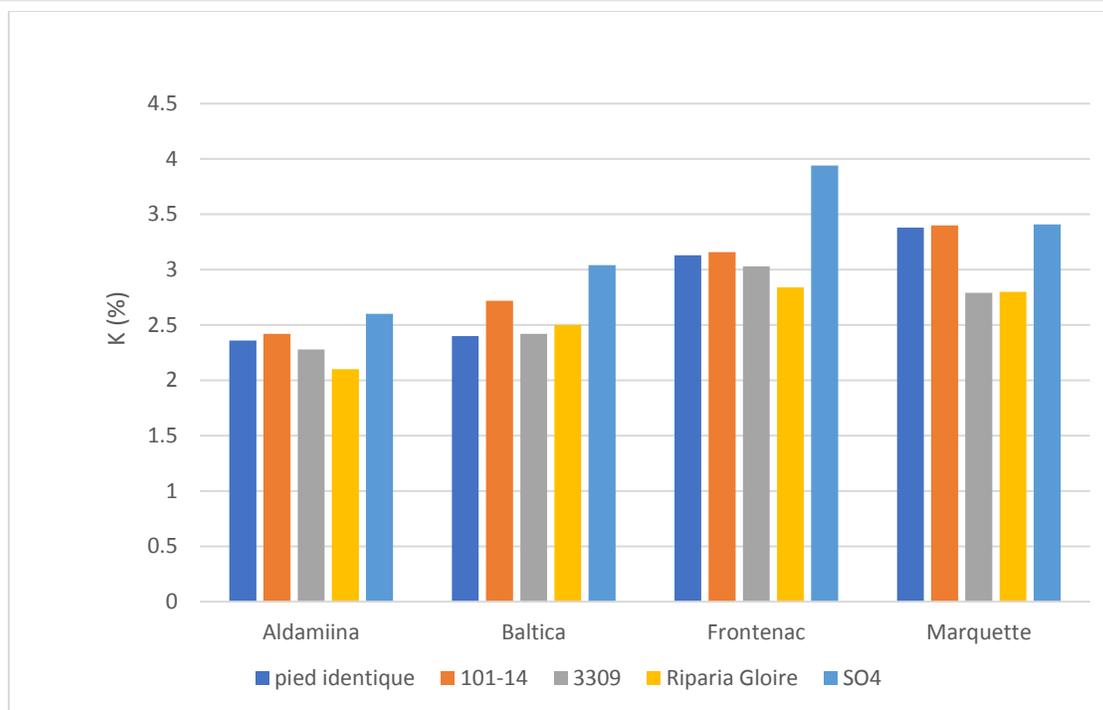


Figure 12 : Concentration en potassium de pétioles pour quatre variétés de cépages hybrides en fonction de différents porte greffe (Provost, 2015)

On constate à travers ces résultats que le greffage en fonction du type de porte-greffe influence de façon variable l'accumulation en potassium. Les concentrations en potassium observées sont résultant de l'effet combiné du porte-greffe et du greffon.

On constate que les porte-greffes 3309 et Riparia gloire engendre une diminution l'accumulation en potassium. De sorte que qu'on rencontre même des niveaux de potassium moins élevés pour le Frontenac et le Marquette greffés sur ces porte-greffes. Ces deux porte-greffes pourraient être utilisés pour réduire si nécessaire, la teneur en potassium de ces deux derniers. On peut voir l'opposé que l'effet d'accumulation en potassium du porte greffe SO4 est beaucoup plus marquée que les trois porte-greffes. C'est pour cette raison qu'on rencontre de manière globale des concentrations en potassium plus élevées chez les cépages greffés sur le SO4. En outre les plus fortes concentrations se retrouvent au niveau de la variété Frontenac greffée sur le SO4. En effet l'habilité du porte-greffe SO4 à accumuler du potassium a été mentionné au niveau d'une étude réalisée par Kodur (2015). Aussi il a été démontré à travers l'étude de Delas and Pouget (1979) une habilité à accumuler le potassium modérée pour le Riparia gloire par rapport à celle du SO4 d'une habilité plus élevée.

Résultats et discussions

D'autre part l'étude fait ressortir l'effet greffon qui met en évidence le facteur variétal. On constate que les plus fortes teneurs en potassium s'observent variétés Frontenac et Marquette, le cas observé pour tous les types de porte-greffe. Ces variétés de cépages accumulent beaucoup plus le potassium que les autres variétés comme l'Aldamiina et le Baltica. Ceci en effet confirme les résultats présentés précédemment au niveau de l'étude de Provost (2013) sur les différentes variétés de cépages hybrides vue au point 4.2 de la section b).

Il est difficile de catégoriser l'union porte-greffe et greffon en fonction des critères œnologiques car les paramètres mesurés sur les grappes obtenues concernent uniquement la teneur en potassium. On peut cependant observé que les combinaisons entre greffon et porte-greffe accumulant moins le potassium sont ceux effectuées avec l'Aldamiina greffé sur le 3309 et sur le Riparia gloire.

4.3.EFFET DE L'EFFEUILLAGES

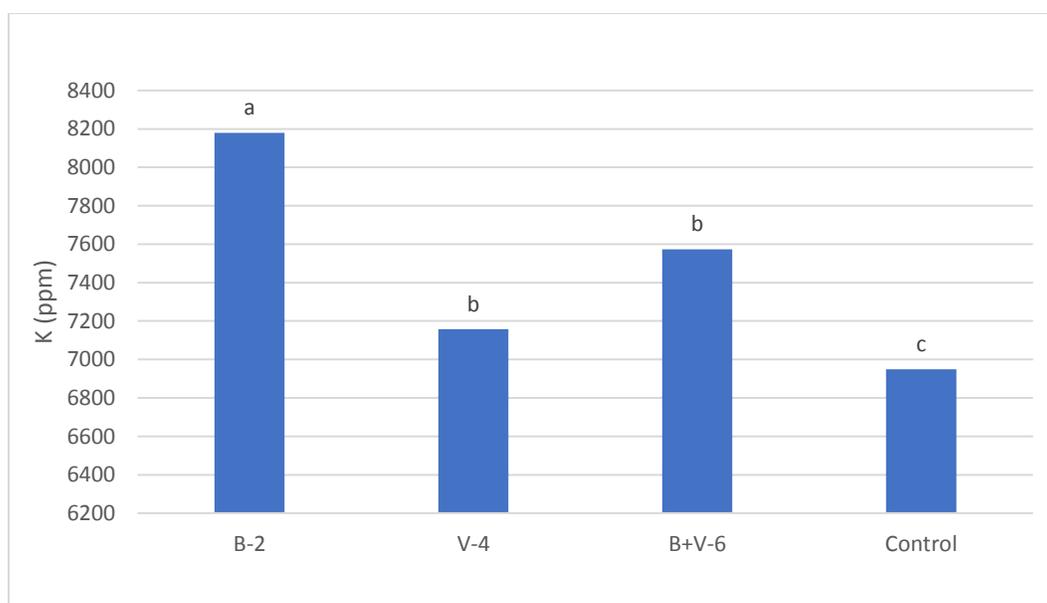


Figure 13: Centration en potassium en fonction de différents niveaux d'effeuillage (Ateş et al., 2016)

Control : Pas d'enlèvement de feuilles

B-2 : Enlèvement de deux feuilles lors de la période d'établissement jusqu'aux grappes

V-4 : Enlèvement de deux feuilles en dessous et de deux feuilles au-dessus des grappes à la véraison

Résultats et discussions

B+V+6 : Enlèvement de trois feuilles lors de la formation et de trois feuilles la véraison en dessus en en dessous des grappes ;

Les valeurs accompagnées de lettres différentes expriment les différences significatives ($p=0.05$) entre les niveaux d'effeuillage.

Les valeurs accompagnées de lettres différentes sont significativement différentes selon Tukey test ($p<0.05$)

Les résultats des analyses statistiques de cette étude montrent que l'enlèvement des feuilles affecte la translocation potassique au niveau des grappes. La teneur en potassium varie pour les trois niveaux d'effeuillage et est supérieure au traitement sans effeuillage (test control). Les traitements d'enlèvement de feuille dès le début de formation des grappes ont beaucoup plus d'incidence sur l'accumulation en potassium comparés à l'enlèvement de feuilles à la véraison. Le premier cas est à l'origine d'une plus forte augmentation en potassium. Pour le traitement B-2 deux feuilles ont été enlevées au-dessous des grappes dès le début de leurs formations de même pour le traitement B+V-6 trois feuilles ont été enlevées au-dessous dès le début de la formation des grappes et trois feuilles ont été enlevées au-dessus aussi à la véraison. On observe, pour ces deux traitements des concentrations respectives d'environ 8200 et 7600 ppm, qui sont les plus fortes teneurs en potassium pour les trois traitements. Tandis que pour le traitement V-4 deux feuilles ont été enlevées à la véraison. Ainsi il existe des différences significatives entre le B-2 et le V-4, entre le B+V-6 et le test control, entre le B-2 et le test control. On n'a pas décelé de différences significatives de la teneur en potassium des grappes pour les traitements V-4 et B+V-6.

On constate en effet que l'enlèvement précoce des feuilles a beaucoup plus d'incidence sur l'accumulation en potassium que l'enlèvement tardif. L'enlèvement de feuilles précoce comme c'est le cas pour les traitements B-2 et B+V-4 aide à une meilleure exposition spatiale des feuilles au soleil ce qui augmente l'activité photosynthétique (Ateş et al., 2016). On observe ainsi pour ces deux traitements des teneurs en potassium plus élevées que les autres considérant que la teneur en potassium augmente avec l'activité photosynthétique. Et le potassium accumulé au niveau des feuilles restant sera transporté au niveau des grappes à la véraison. Comparé à un enlèvement tardif des feuilles qui se fait à la véraison les produits de la photosynthèse (potassium et autres assimilés) ne seront pas accumulés de manière effective au niveau des grappes.

Résultats et discussions

4.4. ESPACEMENT ENTRE RANG ET SYSTÈMES DE TREILLIS

Tableau 5: Composition des baies de Cabernet Sauvignon à la récolte en fonction de différents degrés d'espacement entre les rangs de vignes (Mark Kliewer et al., 1997)

Paramètres	Espacement entre les rangs de vigne			Niveau de signification
	1m	2m	3m	
TSS (°Brix)	23	22.9	22.7	0.0001
pH	3.38	3.35	3.32	0.0001
TA(g/L)	6.6	6.5	6.5	NS
Acide malique (g/L)	1.53	1.39	1.23	0.0001
Potassium (ppm)	1550	1520	1490	0.0003
Anthocyanes (mg/g)	0.82	0.81	0.82	NS

Ces données représentent des moyennes pour les trois traitements d'espacement et les deux porte-greffes sur 3 années

Tableau 6: Composition des baies de Cabernet Sauvignon à la récolte en fonction de différents systèmes de treillis (Mark Kliewer et al., 1997)

SYSTEME DE TREILLIS	Paramètres				
	TSS (°Brix)	pH	TA	K (ppm)	Anthocyanes (mg/g)
Vertical	23.3	3.36	6.6	1580	0.81
SC	22.8	3.33	6.8	1580	0.8
TK2T	22.6	3.3	6.6	1380	0.77
GDC	23.1	3.38	6.5	1580	0.83
Lyre	22.6	3.35	6.2	1540	0.83
V-treillis	22.7	3.38	6.5	1570	0.84
Niveau de signification	0.002	0.0001	0.0001	0.0001	NS

Ces données représentent des moyennes pour les six systèmes de treillis et les deux porte-greffes sur 3 années

L'expérience montre des différences significative ($p=0.3\%$) entre les concentrations en potassium pour les trois niveaux d'espacement (tableau 5). Les plus faibles concentrations en potassium s'observent au niveau des grappes dont l'espacement entre rangs était de 3m, en effet la concentration en potassium des grappes varie de façon moins que proportionnelle à l'espacement

Résultats et discussions

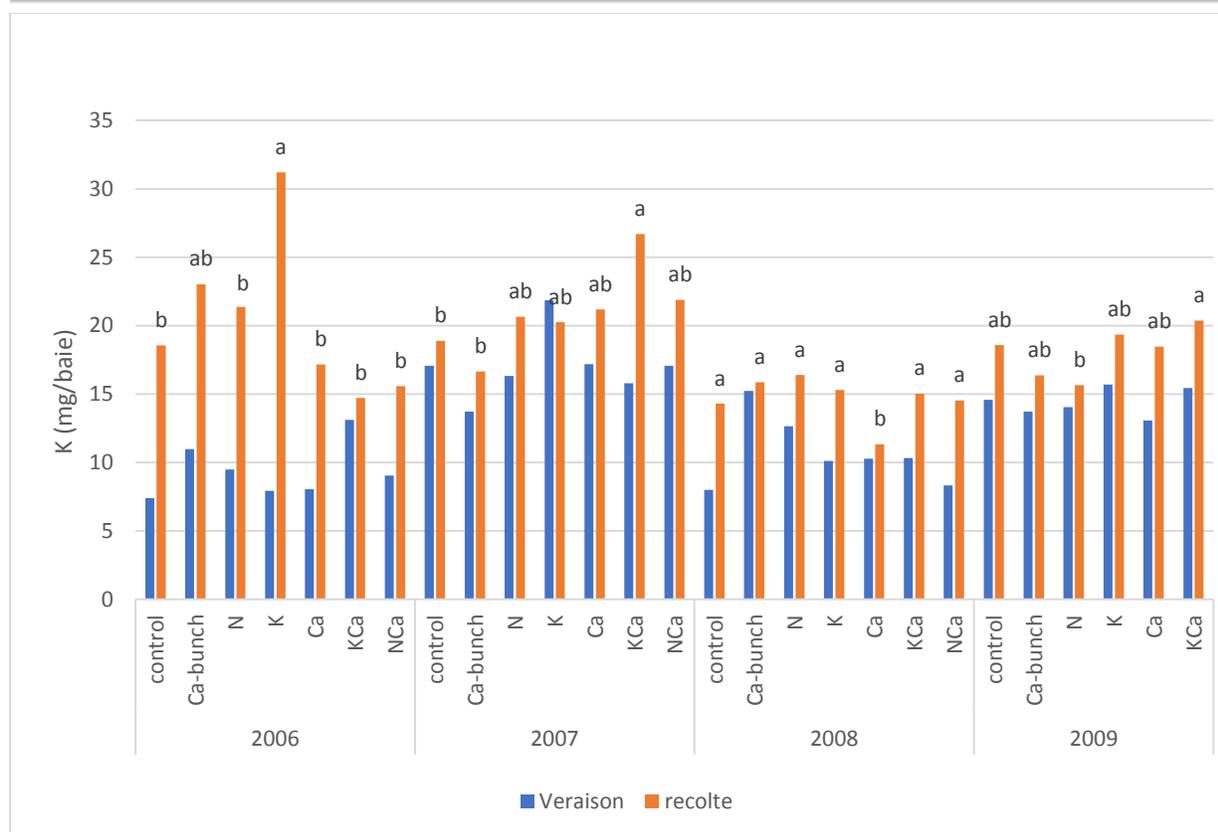
entre les rangs. En outre, on constate une corrélation positive entre la teneur en potassium et la teneur en sucre pour les trois niveaux d'espacement, il en est de même pour le pH. En effet, les plus fortes concentrations en potassium sont associées aux concentrations en sucre les plus élevées. La différence significative pour les teneurs en sucre s'observe à un seuil de 0.1%. On n'observe cependant pas de différences significatives pour les teneurs de potassium entre les trois niveaux d'espacement.

Des différences en rapport à la concentration en potassium s'observent pour les systèmes de treillis à un seuil de 0.1%. Les modalités Lyre et V-treillis sont les deux systèmes exprimant une concentration en potassium inférieure par rapport aux trois autres. Ces derniers contribuent à la réduction de l'accumulation en potassium. Les systèmes vertical, SC, TK2T, GDC expriment une concentration égale de l'ordre de 1580 ppm. Les autres paramètres ne suivent pas la même tendance que la concentration en potassium, et n'expriment pas de très grandes variations entre elles. Les systèmes Vertical, SC, GDC et V-treillis expriment les plus fortes concentrations en sucre tandis que les traitement TK2T et Lyre donnent des raisins moins concentrés en sucre.

En effet l'espacement entre les rangs de vigne et les modalités de treillis utilisés influencent le microclimat de la vigne. Plus l'écartement entre les rangs de vigne est grand plus le microclimat évacue l'humidité et moins le potassium est absorbé par la plante car étant un élément très mobile et soluble ce dernier est plus disponible en conditions humides. C'est pourquoi on constate que le potassium est beaucoup plus absorbé pour un espacement de 1m que pour un espacement de 2m il en est de même pour l'espacement de 3m. D'un autre côté pour les systèmes de treillis, les plus faibles teneurs enregistrés pour le TK2T sont dues au fait que ce système est le seul avec différents niveaux exposant moins les feuilles de la vigne à l'ensoleillement.

4.5.EFFET DE LA FERTILISATION

Résultats et discussions



Les valeurs accompagnées de lettres différentes sont significativement différentes selon un test de Student ($p \leq 0.05$)

Figure 14: Concentration en potassium en fonction des traitements de fertilisation appliqués pour quatre millésimes différents (véraison et maturité) (Raath, 2012)

On constate que la fertilisation a des effets marquants et variables sur l'accumulation en potassium dans les grappes en fonction du type de fertilisant appliqué et des interactions entre les éléments. Les comparaisons effectuées plus bas concernent les deux stades de production et aussi les différents traitements comparés au traitement sans fertilisation.

Pour toutes les années étudiées (2006, 2007, 2008 et 2009) à la véraison on n'observe pas de grande variation au niveau de la teneur en potassium pour tous les traitements. Ainsi les apports en K n'ont pas contribué à une variation significative de la teneur en potassium par rapport au traitement sans fertilisation (test control), il en est de même pour les apports en Ca et en NCa ; Cela peut être dû au fait que le phénomène de translocation du potassium au niveau des grappes n'est pas encore effectué à un degré considérable considérant que celle-ci se débute à cette période

Résultats et discussions

du stade de développement de la vigne (MPELASOKA et al., 2003). Les impacts du traitement de fertilisation ne sont pas exprimés à la véraison.

Les concentrations en potassium au niveau des grappes ont connu une grande variation de la véraison à la récolte. Ainsi pour l'année 2006, à la récolte les concentrations sont nettement supérieures pour tous les traitements, comparées aux concentrations à la véraison, particulièrement pour les apports en K. Le fait d'une plus grande disponibilité du potassium engendre une plus grande accumulation de cette dernière au niveau des grappes. Des différences significatives sont en effet observées entre la fertilisation potassique (K) et les traitements sans fertilisation, ainsi que les apports en N et en Ca. Pour l'année 2007, à la récolte les apports en KCa sont significativement supérieurs au traitement sans fertilisation. On observe de plus une faible augmentation cependant non significative pour les apports en K. On a tendance à observer pour l'année 2008 que les fertilisations en KCa, Ca et en NCa engendrent des concentrations en potassium moins élevées au niveau des grappes comparées au traitement sans fertilisation, cela pourrait s'expliquer par le fait qu'au niveau du sol la présence du Ca inhibe l'absorption K par la vigne, même en cas d'un certain apport en potassium comme supplément dans le sol.

Pour l'année 2009, la plus forte concentration en potassium au niveau des grappes s'observe pour la fertilisation azotée (N), ensuite vient la fertilisation potassique. La fertilisation azotée contribuant au développement racinaire, engendre une plus grande possibilité à la plante d'absorber le potassium. A l'opposé, la fertilisation en Ca est à l'origine d'une plus faibles concentrations en potassium au niveau des grappes (inhibition du K).

Toutefois on constate que cette analyse ne présentant pas une homogénéité par rapport à la fertilisation d'une année à l'autre. Ceci montre que la fertilisation n'est pas essentiellement le seul facteur qui influence l'accumulation en potassium des grappes, mais elle peut être aussi influencer par d'autres facteurs comme les conditions climatiques et météorologiques variables au fil des années, la teneur en eau du sol, comme il a été étudié plus haut.

Cependant de manière globale les apports en K et en N (sauf 2009) ont occasionné une augmentation de la teneur en K au niveau des grappes qui se sont révélées pour certaines années significatives et pour d'autres non significatives. D'autre parts une comparaison de la véraison et de la récolte décrit le phénomène translocation du potassium comme présenté au point 2.3.

Résultats et discussions

4.6.EFFET DE LA CONDUITE DE TAILLE

a) Cépages *Vitis vinifera*

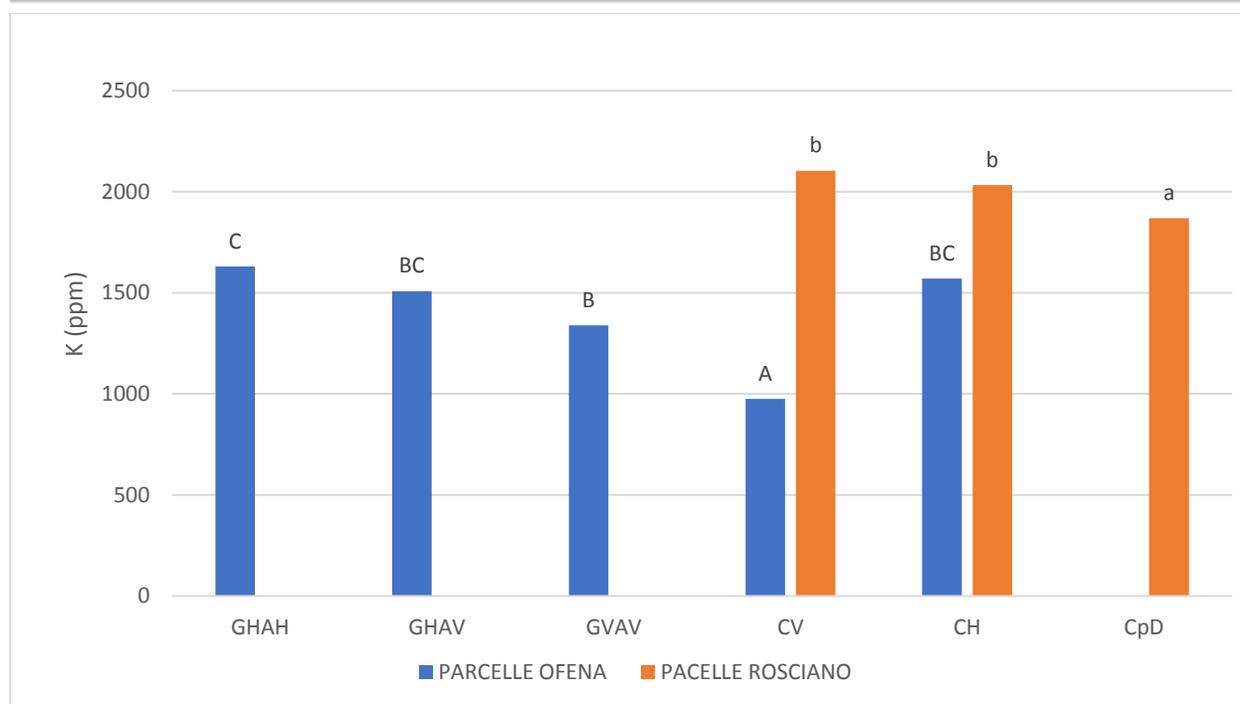
Tableau 7 : Composition des raisins de Pinot noir en fonction de différentes modalités de taille dans deux parcelles différentes (Ofena et Rosciano)(PIREZ et al., 2014)

	TRAITEMENT	TSS Brix)	(° TA (g/L)	pH	K ⁺ (ppm)	Anthocyanes totaux (g/kg)
Parcelle Ofena	GHAH	22.4 c	7.84 a	3.34c	1630 c	0.647 b
	GHAV	22.2 c	7.54 a	3.34 c	1508 bc	0.664 b
	GVAV	19.8 b	10.78 b	3.12 b	1339 b	0.671b
	CV	16.9 b	14.16 c	2.97 a	975 a	0.477a
	CH	21.8 c	8.18 a	3.33 c	1571 bc	0.685b
	Significativité	**	**	**	**	*
Parcelle Rosciano	CH	21.7	6.31	3.38	2034	0.441
	CpD	21.6	6.43	3.37	1869	0.446
	CV	21.6	6.42	3.34	2104	0.564
	Significativité	n.s.	n.s.	n.s.	**	**

(*) p=0.05 ;(**)p=0.01 ; n.s. : non significative à l'analyse de la variance (ANOVA).

Pour chaque colonne, les valeurs associées à la même lettre ne sont pas significativement différentes au test S_N_K, $\alpha=0.05$

Résultats et discussions



Les valeurs accompagnées de lettres différentes expriment significativement les différences entre les niveaux de tailles selon un test de Student à a un seuil de 1%.

Figure 15: Teneur en potassium des raisins de Pinot noir pour différentes modalités de taille (PIREZ et al., 2014)

D'après les analyses de variance réalisées, sur les concentrations en potassium observées, il est révélé qu'il existait des différences significatives entre les différentes modalités de taille.

Pour la parcelle Ofena les valeurs moyennes en ppm observées pour la concentration des différentes modalités de taille sont 1630, 1508, 1339, 975, 1571 ; respectivement pour les modalités GHAH, GHAV, GVAV, CV, CH. Les analyses statistiques ont révélé des différences significatives par rapport à la concentration en potassium significatif à 1% de marge d'erreur.

De même la plus forte concentration en potassium est corrélée à la concentration en solides solubles et à un pH élevé, comme décrit au point 2.3, de telle sorte qu'on constate pour les différentes modalités de taille les plus fortes concentrations en solides solubles et les plus hauts niveaux de pH sont observés pour le GHAH soit 1630 ppm. On constate que les traitements printaniers ont un effet réductif sur la concentration en potassium c'est ce qui explique le fait que les niveaux de potassium pour le GHAH et le CH étaient inférieurs aux niveaux observés pour le GVAV et le CV.

Résultats et discussions

Pour la parcelle Rosciano les valeurs moyennes de la concentration en potassium sont de 2034, 1869, 2104 ppm, respectivement pour les modalités de taille, CH, CpD et CV. Des différences significatives s'observent entre les différentes modalités de taille à un seuil de 1% de marge d'erreur. En outre on constate qu'il y a une corrélation positive entre le niveau de potassium et le pH, de même pour la teneur en solides solubles comme observé au niveau de la parcelle Ofena. Pour la taille printanières CV on observe une augmentation du taux de potassium par rapport à la taille d'hivers CH.

En comparant les tendances au niveau des parcelles on constate qu'elles sont opposées, les conduites de taille printanières réduisent le niveau de potassium pour la parcelle Ofena tandis qu'ils l'augmentent pour la parcelle Rosciano. Ainsi il conviendrait de comprendre que ces différences sont plutôt dû à d'autres facteurs spécifiques à chaque parcelle mais non des conduites de taille en elles-mêmes. Le choix de mode de conduite de taille devrait en effet avoir comme considération d'autres aspect préférentiellement d'ordre pratiques et économiques étant donné qu'elle n'est pas d'un impact majeur sur la teneur en potassium des grappes.

b) Cépages Hybrides

Résultats et discussions

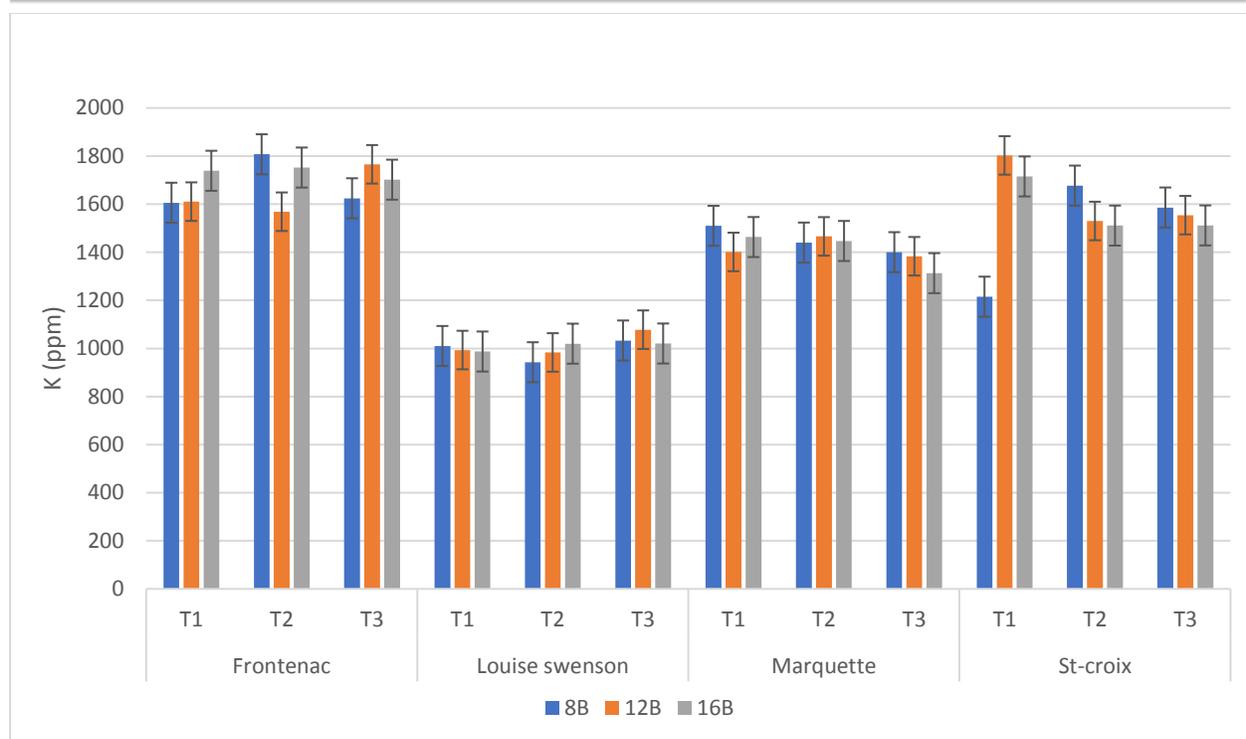


Figure 16: Concentration en potassium pour trois variétés de cépages hybrides différentes en fonction de différentes modalités de taille (Provost et al., 2014)

L'étude montre que les différentes modalités de conduites de taille T1, T2 et T3 n'ont pas eu d'effet marquant sur la concentration en potassium des grappes. On a observé que des variations liées au nombre de bourgeon laissé au niveau de la T1 chez la variété St-Croix. Cela peut être dû à d'autres facteurs non étudiés car la tendance générale ne montre aucune différence entre les modalités de taille T1, T2, et T3. Les faibles concentrations observées pour la variété Louise Swenson sont plutôt dues à la spécificité de ce dernier à accumuler moins de potassium que les autres variétés.

En effet on voit qu'au niveau de trois des quatre variétés pour les différentes modalités de tailles la concentration en potassium est supérieure à 1000 ppm excepté pour la variété Louise Swenson. Ces résultats ne sont pas en effet dû aux conduites de taille effectuées. Ce qui fait que les trois modalités de tailles étudiées ne représentent pas des critères majeurs impactant sur la teneur en potassium des grappes et le potentiel œnologique.

Résultats et discussions

4.7. EFFET DU TYPE MACÉRATION

Tableau 8: Expression des résultats de quelques paramètres œnologiques classiques comparée à un témoin en fonction de différents types de macération (Geffroy et al., 2013)

Paramètres	Modalité					
	MPC (2h, 70°C)	MPCSO (2h ; 70°C)	CARB (CO2)	COURT (120h ; 25°C)	MPF (72h ; 4°C)	Témoin (192h, 25°C)
AT	-0.3	=	=	=	=	-
Ph	+0.06	=	=	=	=	-
Potassium	+0.14	+0.05	+0.04	+0.05	+0.07	-

Les chiffres présentés représentent les écarts moyens lorsque des différences sont observées entre les différents types à un seuil de 5%.

Le tableau traduit l'impact des techniques de macération sur certains paramètres œnologiques du vin en exprimant l'écart entre les différentes modalités et le traitement témoin. Concernant la variation de la concentration en potassium on constate que c'est le traitement MPC qui a le plus d'influence sur ce paramètre avec une différence de 0.15 g/L par rapport au témoin. Ensuite viennent en position intermédiaire, dans l'ordre de la plus grande influence les traitements MPF, MPCSO et COURT respectivement avec 0.07, 0.05, 0.05 g/L de différence par rapport à la concentration en potassium du traitement témoin. Les différences de concentration en potassium des vins induites par la macération de type CARB sont faibles.

La teneur en potassium des mouts pour les traitements de macération dépend du couple temps et température. Les hautes températures ainsi que les durées plus longues contribuent à l'extraction du potassium contenu dans les pellicules au niveau duquel il se trouve en majeure partie (MPELASOKA et al., 2003). Ainsi le niveau de potassium est plus élevé pour le MPC que pour le COURT. De plus on constate des concentrations en potassium sont les plus élevées pour le MPC comparées au MPCSO. Les différences entre ces derniers sont dues au fait que dans le cas du MPC, la vinification a été effectuée en milieu liquide qui a engendré une plus forte solubilisation du potassium contrairement à MPCSO.

Résultats et discussions

Pour les autres paramètres telle que le pH, l'acidité totale (AT), c'est au niveau traitement MPC qu'on rencontre une variation par rapport au témoin. Les autres traitements montrent des résultats égaux par rapport au traitement témoin.

V. CONCLUSION

Il est en effet connu de tous que le potassium est un élément d'importance majeure au niveau des plantes en général et de la vigne particulièrement en intervenant comme cofacteur enzymatique dans de nombreuses réactions biochimiques et comme régulateur de la pression osmotique des cellules par rapport à la concentration de ce dernier à l'intérieur du cytoplasme. Il sert de plus, au niveau de la vigne, à assurer la protection des bourgeons contre le gel hivernal et à la translocation des assimilés dans les grappes. Ces rôles et importances font que le potassium est élément indispensable d'où son absorption par la vigne et accumulation en grande quantité au niveau des grappes dont les concentrations varient suivant certains facteurs d'influence.

En effet, les facteurs naturelles, biologiques, culturaux et œnologiques influencent la teneur en potassium pouvant être retrouvée au niveau des grappes. D'après les études présentées, on comprend que les facteurs climatiques, la fertilisation, l'irrigation et le cultivar, dépendant du greffage ou de la variété, sont les facteurs majeurs impactant sur la teneur en potassium finale des grappes. Ainsi annuellement, les concentrations en potassium peuvent varier des grappes et des mouts de 1.76 à 1.99 g/L. D'un autre côté, l'apport d'éléments fertilisants est à l'origine de variations entre 14 à 31 mg pour chaque baie, le statut hydrique du sol pour sa part cause des exportations en potassium des grappes variant de 32.38 à 52.73 kg/ha selon que la parcelle soit non irriguée ou irriguée et enfin on rencontre en analysant les mouts des différences de concentration en potassium entre les variétés pouvant varier de 723 à 1625 mg/L. Les autres facteurs comme le type de sol, la conduite de taille, les systèmes de treillis utilisés, l'espacement entre les vignes se sont révélés d'impacts moins significatifs sur la teneur en potassium des grappes et des mouts. Enfin, la macération dans le cas des cépages rouges a été révélée de son côté d'impacts plus ou moins significatifs. Par ailleurs, les fortes concentrations en potassium (>1000mg/L) résultants des impacts de ces facteurs sont parmi les principales responsables des pH > 3.7 des mouts de vins, niveau de pH à laquelle la qualité du vin se trouve affecter (Provost, 2013).

Somme toute, l'accumulation en potassium est un facteur à optimiser par rapport à l'imprévisibilité des influences combinées des facteurs dont sa concentration dans les grappes et les mouts dépend et de son impact sur la qualité finale du vin. L'idéale en effet serait de mener des études visant à

Conclusion et recommandations

identifier les conditions météorologiques optimales afin de prévoir l'accumulation en potassium; de maîtriser les techniques d'optimisation de la fertilisation particulièrement celle potassique, d'identifier les variétés ayant une capacité optimale d'absorption en potassium; de connaître en vue d'appliquer des techniques de culture favorisant une absorption optimale du potassium et enfin de maîtriser des techniques viticoles appropriées visant à équilibrer le taux de potassium de mouts quand c'est nécessaire.

Références

VI. REFERENCES

- Ali, S. (2015). *EFFET DE LA NATURE DU SOL SUR LA TENEUR EN ANTIOXYDANTS DE QUELQUES VARIÉTÉS DE RAISIN DE LA RÉGION D'EL-TARF*. Université Badji Mokhtar-Annaba.
- Andersson, S., Simonsson, M., Öborn, I., Askegaard, M., Eriksen, J., Ogaard, A., . . . Fournier, J. BESOINS DE RECHERCHE SUR LA NUTRITION POTASSIQUE DES PLANTES.
- Ateş, F., Ünal, A., Takma, Ç., & Altındışli, A. (2016). *Effects of different level of leaf removal applications on mineral substance of raisins in organic Sultani Çekirdeksiz grape growing*. Paper presented at the BIO Web of Conferences.
- Boulton, R. (1980). The general relationship between potassium, sodium and pH in grape juice and wine. *American Journal of Enology and Viticulture*, 31(2), 182-186.
- Cadet, A. (2005). *Le cépage VITIS VINIFERA L. CV. FER SERVADOU: étude de la nutrition minérale et des relations cepage, terroir, qualité du vin*. Institut National Polytechnique de Toulouse.
- Casamayor, P. (2013). *L'École de la dégustation: Le vin en 100 leçons*: Hachette pratique.
- CELETTE, F. (2007). *Dynamique des fonctionnements hydrique et azoté dans une vigne enherbée sous le climat méditerranéen*. MONTPELLIER SUPAGRO.
- Chardonnet, B. D. (1992). et C. Evolution et localisation des principaux cations au cours du développement du raisin. *Vitis*, 31, 175-181.
- Coulon, C., & Barbeau, G. PRATIQUES AGRO-VITICOLES ET QUALITE DES MOUTS. *Journées Techniques*, 5.
- Davaux, F., Dias, F., & Midi, J. L. F. I. F. (2003). L'ECHANTILLONNAGE ADAPTE POUR L'ANALYSE IRTF.
- De Orduna, R. M. (2010). Climate change associated effects on grape and wine quality and production. *Food Research International*, 43(7), 1844-1855.
- Delas, J., & Pouget, R. (1979). Influence du greffage sur la nutrition minérale de la vigne. Conséquences sur la fertilisation. *OENO One*, 13(4), 241-261.
- Dubernet, M., Toussaint, M., Camper, P.-M., Paricaud, T., Coste, M., Kalanquin, D., . . . Fourment, J.-D. (2015). Dynamique annuelle de la nutrition de la vigne et ses conséquences œnologiques: cas de l'Azote et du Potassium Yearly dynamic of the vine nutrition and its oenological consequences: focus on nitrogen and potassium.

Références

- Dubois, J. M., & Deshaies, L. (1997). *Guide des vignobles du Québec: sur la route des vins*: Presses Université Laval.
- El Darra, N. (2013). *Les composés phénoliques des raisins: étude du potentiel qualitatif et des procédés émergents d'extraction*. Compiègne.
- Flanzy, C., Samson, A., Boulet, J., & Escudier, J. (2001). Vins de garde élaborés par macération carbonique. *REVUE FRANCAISE D OENOLOGIE*, 20-24.
- Geffroy, O., Lopez, R., Serrano, É., Dufourcq, T., GRACIA-MORENO, E., CACHO, J., & FERREIRA, V. (2013). Incidence de cinq techniques de macération sur les caractéristiques analytiques, aromatiques et sensorielles des vins rouges. *Revue des oenologues et des techniques vitivinicoles et oenologiques: magazine trimestriel d'information professionnelle*, 40(149), 55-59.
- Giomo, A., Borsetta, P., & Zironi, R. (1995). Grape quality: research on the relationships between grape composition and climatic variables. *Strategies to Optimize Wine Grape Quality* 427, 277-286.
- Davaux, F., Dias, F., Favarel, J.L. (2003). L'échantillonnage adapté pour l'analyse IRFT
- Hamza, H. (2017). Appréciation de la nutrition minérale de quelques vignobles de la région de Skikda par la démarche de l'enquête.
- Jones, G. V., Snead, N., & Nelson, P. (2004). Geology and wine 8. Modeling viticultural landscapes: A GIS analysis of the terroir potential in the Umpqua Valley of Oregon. *Geoscience Canada*, 31(4).
- Kodur, S. (2015). Effects of juice pH and potassium on juice and wine quality, and regulation of potassium in grapevines through rootstocks (*Vitis*): a short review. *VITIS-Journal of Grapevine Research*, 50(1), 1.
- LES CARACTÉRISTIQUES, G., & DU RÉGIME, D. E. À. Q. UN FLEUVE UNIQUE.
- Lévite, D., & FiBL, F. Effet de différents systèmes d'entretien du sol dans un vignoble biologique du valais central.
- Malquori, A., & Parri, F. (1980). The potassium requirements of fruit crops. *Potassium Requirements of Crops*(7), 63.
- Mark Kliewer, W., Wolpert, J. A., & Benz, M. (1997). *Trellis and vine spacing effects on growth, canopy microclimate, yield and fruit composition of Cabernet Sauvignon*. Paper presented at the V International Symposium on Grapevine Physiology 526.

Références

- MEISTERMANN, E., & GUERIN-SCHNEIDER, R. LE CONTROLE DE MATURITE: IMPORTANCE ET OUTILS D'EVALUATION.
- Michaud, A., Bourgeois, G., & Plouffe, D. Revue de littérature.
- Midi-Pyrénées, E. S. I. F. (2001). REGIME HYDRIQUE ET MINERAL DE LA VIGNE ELEMENTS DE POTENTIALITE D'UN TERROIR.
- Moss, R. (2016). Potassium in viticulture and enology.
- MPELASOKA, B. S., SCHACHTMAN, D. P., TREEBY, M. T., & THOMAS, M. R. (2003). A review of potassium nutrition in grapevines with special emphasis on berry accumulation. *Australian Journal of grape and wine research*, 9(3), 154-168.
- Peacock, B. (2007). Potassium in soils and grapevine nutrition.
- Perraud, J. (1896). *La taille de la vigne: étude comparée des divers systèmes de taille*: C. Coulet.
- PIREZ, F. J., de Mémoire, P., & GATTI, M. (2014). EFFETS DES DIFFERENTES MODALITES DE TAILLE D'HIVER SUR LA PHENOLOGIE ET LES ASPECTS PRODUCTIFS ET QUALITATIFS DU PINOT NOIR EN ITALIE CENTRALE.
- Pool, B. (1999). *Factors affecting vineyard site suitability in cold climates such as found in New York State*. Paper presented at the depth Fruit School and 28th Annual New York Wine Industry Workshop. March.
- Provost, C., Bastien, R., D'Hauteville, J., & Œnologues, O. (2013) Programme canadien d'adaptation agricole.
- Provost, C., Bastien, R., D'Hauteville, J., & Œnologues, O. (2014). Programme canadien d'adaptation agricole.
- Provost, C. (2015) Programme de soutien à l'innovation horticole.
- Raath, P. J. (2012). *Effect of varying levels of nitrogen, potassium and calcium nutrition on table grape vine physiology and berry quality*. Stellenbosch: Stellenbosch University.
- Renouf, V. (2006). *Description et caractérisation de la diversité microbienne durant l'élaboration du vin: Interactions et équilibres—Relation avec la qualité du Vin*. Institut National Polytechnique de Toulouse.
- Smart, R., Robinson, J., Due, G., & Brien, C. (2015). Canopy microclimate modification for the cultivar Shiraz II. Effects on must and wine composition. *VITIS-Journal of Grapevine Research*, 24(2), 119.
- Soyer, J.P. (1999). Analyse sur mouts: Un outil de diagnostic supplémentaire

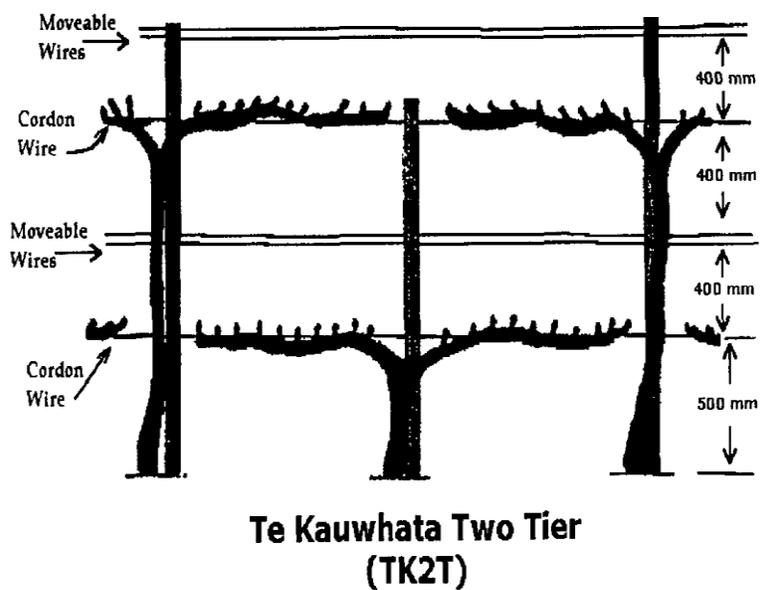
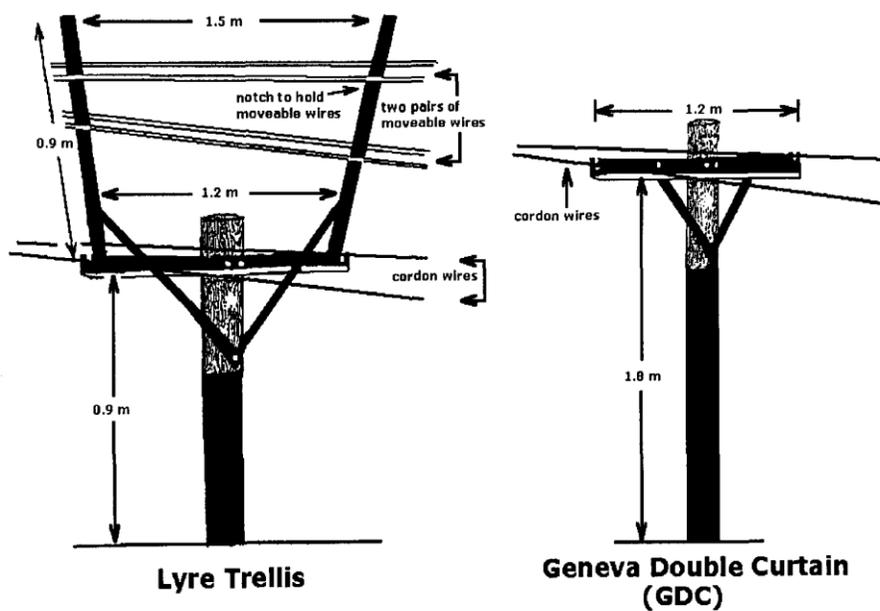
Références

- Valenti, L., Tonni, M., & Cisani, F. (1995). EFFECT OF TRAINING SYSTEM AND VINE SPACING ON VINE GROWTH AND PRODUCTIVITY OF CV 'BARBERA' IN S. COLOMBANO AL LAMBRO (NORTH ITALY). FIRST RESULTS. *Strategies to Optimize Wine Grape Quality* 427, 119-128.
- Van Leeuwen, C., Friant, P., Chone, X., Tregoat, O., Koundouras, S., & Dubourdieu, D. (2004). Influence of climate, soil, and cultivar on terroir. *American Journal of Enology and Viticulture*, 55(3), 207-217.
- Walker, R., Clingeleffer, P., Kerridge, G., Rühl, E., Nicholas, P., & Blackmore, D. (1998). Effects of the rootstock Ramsey (*Vitis champini*) on ion and organic acid composition of grapes and wine, and on wine spectral characteristics. *Australian Journal of grape and wine research*, 4(3), 100-110.
- Zaballa, O., García-Escudero, E., Chavarri, J., Medrano, H., & Arroyo, M. (1996). *Influence of vine irrigation (V. Vinifera L.) on potassium nutrition*. Paper presented at the III International Symposium on Mineral Nutrition of Deciduous Fruit Trees 448.

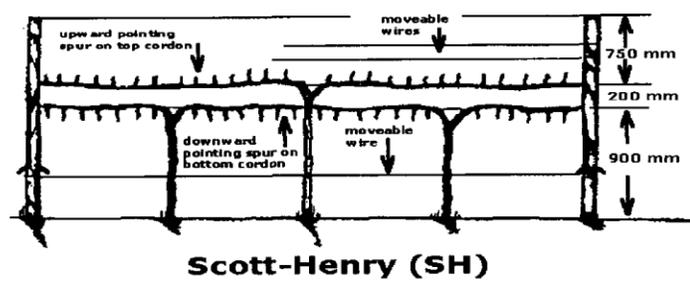
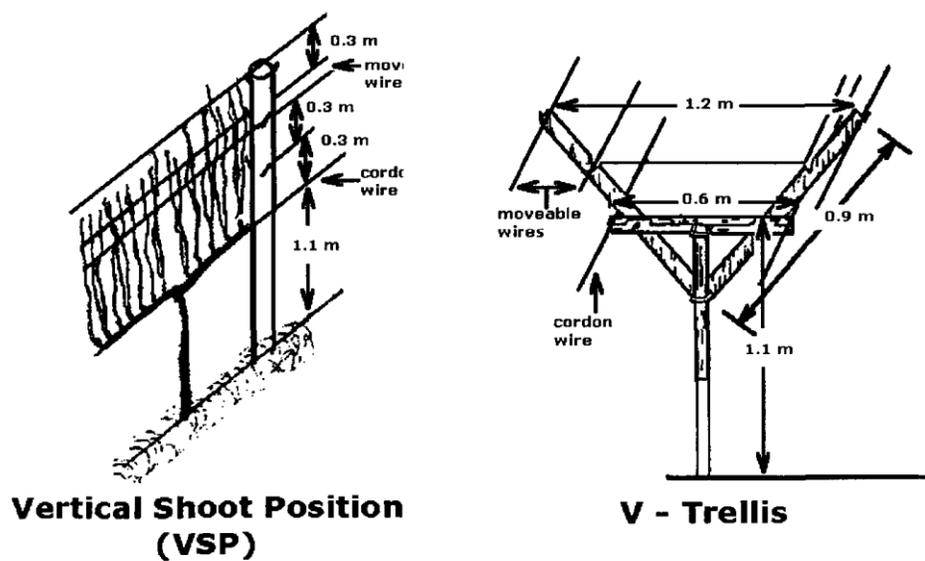
ANNEXES

Annexes

Annexe 1 : Modalités de systèmes de treillis (Mark Kliewer et al., 1997)

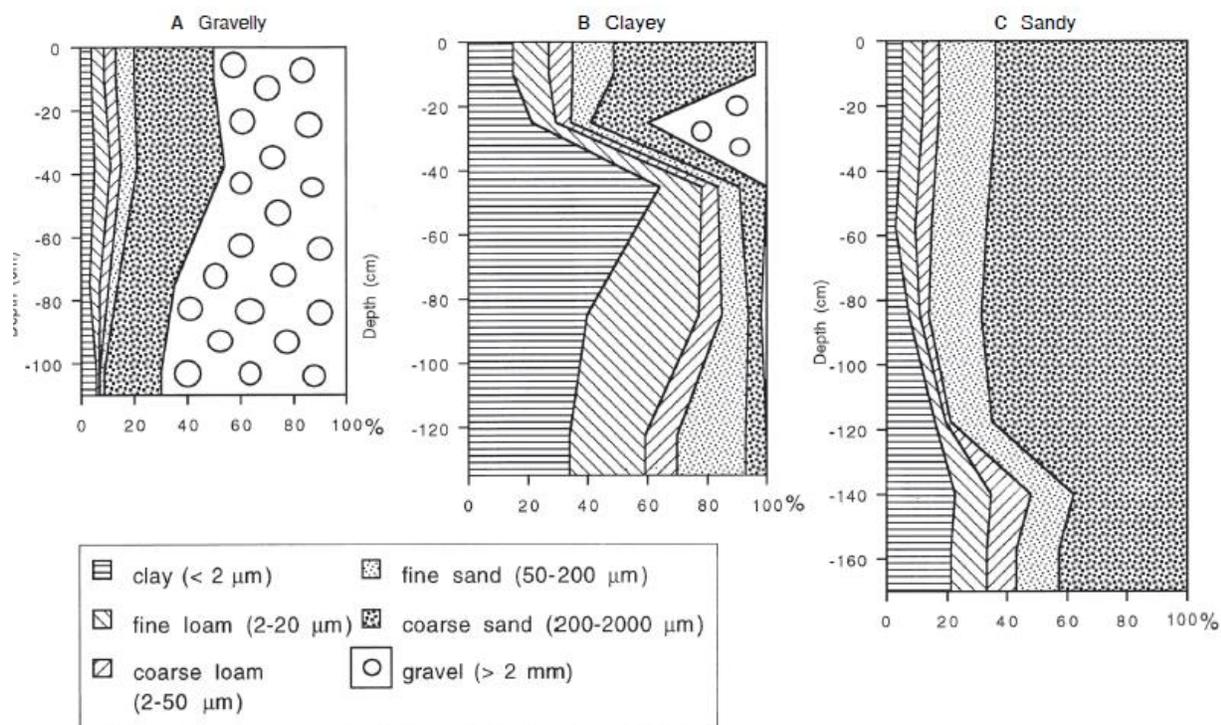


Annexe 1 (suite) : Modalités de système de treillis (Van Leeuwen et al., 2004)



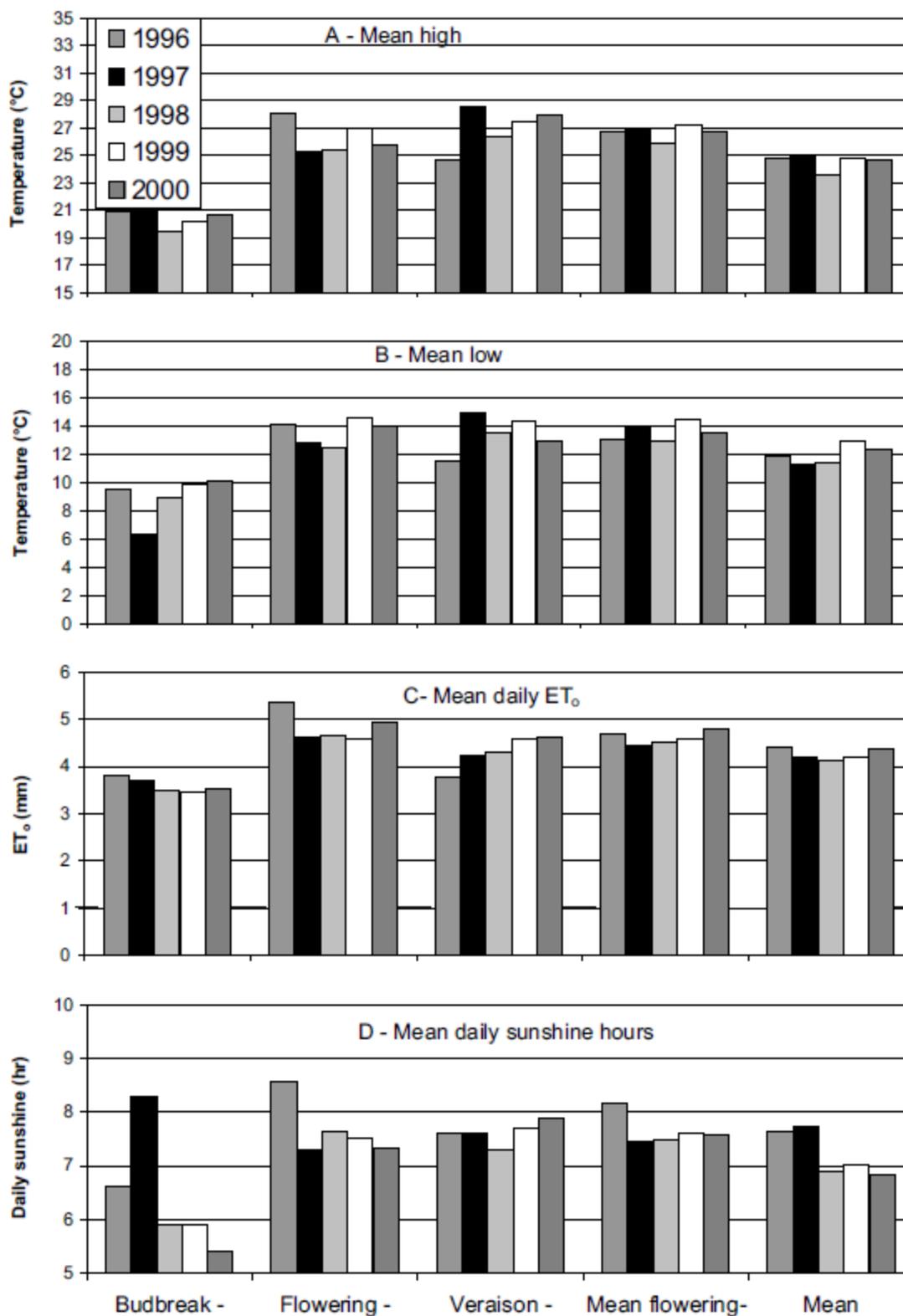
Annexes

Annexe 2 : types et profondeur des sols (Van Leeuwen et al., 2004)



Annexes

Annexe 3 : Données climatiques et météorologiques (Van Leeuwen et al., 2004)



Annexes

Annexe 3 (suite)

