

DEFINITION D'INDICATEURS DE FONCTIONNEMENT DE LA VIGNE POUR CARACTERISER LES TERROIRS VITICOLES.

DEFINITION OF FUNCTIONAL INDICATORS OF THE VINE TO CHARACTERIZE WINE TERROIRS

GOUTOULY, J.-P.¹, SOYER, J.-P.¹, VAN LEEUWEN C.² et GAUDILLERE J.-P.¹.

¹INRA-AGRONOMIE, Ecophysiologie & Agronomie Viticole, 71, avenue Edouard Bourleaux - B.P.81 33883 Villenave d'Ornon cedex.

²ENITA de Bordeaux, 1 cours du Général de Gaulle, BP 201, 33175 Gradignan cedex.

Mots clés: Vigne, déficit hydrique, discriminations isotopique, ^{13}C , biomasse, alimentation azotée, sol, terroir.

Key words: Vine, water deficit, isotope discrimination, ^{13}C , biomass, nitrogen supply, soil, terroir.

RESUME

La caractérisation des terroirs viticoles est traditionnellement basée sur des descripteurs de la géologie et de la pédologie des différents milieux rencontrés, couplées à des données climatiques. Cette approche peut être efficacement complétée par une description fonctionnelle, basée sur des indicateurs d'état de la vigne. Les facteurs du milieu (somme de température, alimentation hydrique, richesse minérale...) déterminent la phénologie et le niveau des productions végétales. Mais la connaissance des caractéristiques du milieu ne permet pas *a priori* de repérer la combinaison effectivement déterminante. Le potentiel d'un vignoble est évalué sur le produit final : la baie de raisin, et non par la seule caractérisation physique du sol (méthode nécessaire mais pas suffisante). L'utilisation de variables intermédiaires entre les facteurs du milieu et la caractérisation des raisins permet une meilleure appréciation des terroirs.

Nous proposons trois indicateurs pouvant servir à l'exploration de la qualité au sein d'une appellation : l'abondance en ^{13}C naturel des sucres pour l'estimation de la contrainte hydrique, le dosage de l'azote dans les feuilles et les moûts pour l'estimation de la contrainte azotée, le poids de bois de taille directement relié à la surface foliaire (relations allométriques), pour l'estimation de la vigueur de la plante. L'objectif est de disposer d'outils rapides et faciles d'accès, contribuant à une cartographie fonctionnelle du vignoble. Ces outils permettent d'étudier la part prise par les différents facteurs impliqués dans la constitution de la qualité de la baie de raisin, au cours d'un cycle végétatif, pour le terroir considéré.

ABSTRACT

Characterization of terroirs is traditionally based on descriptors of the geology and pedology of various soils surrounding, coupled to climatic data. This approach can effectively be supplemented by a functional description, based on indicators of state of the vineyard. The factors of the environment (thermal time, water availability, mineral richness ...) fix the phenology and the level of the productions. But the knowledge of the characteristics of the environment does not a priori allow to track down the effectively determining combination. The potential of a vineyard is evaluated on the end product: the grape berry, and not by the only physics characterization of the soils (necessary but not sufficient method). The use of intermediate variables between the factors of the environment and the characterization of the grapes allows a better appreciation of the soils.

We propose three indicators being able to be used for the browsing of quality within an appellation: the abundance in natural ^{13}C of sugars for the estimate of the water restriction, the measurement of the amount of nitrogen in leaves and musts for estimate of the nitrogenous constraint, the pruning weights directly linked to the leaf area (allometric relations), for estimate of the vigor of the plant. The objective is to have fast and easily accessible tools, contributing to a functional cartography of the vineyard. These tools make possible to study the share of the various factors implicated in the constitution of the grape berry quality, during a vegetative cycle, for the terroir considered.

INTRODUCTION

Dans le cadre de la caractérisation des grandes régions viticoles, le premier facteur retenu comme source de variabilité spatiale et temporelle est le climat. Une autre source importante de variabilité est générée par la diversité des sols, tant du point de vue de leur texture que de leur profondeur. Cela a traditionnellement conduit à caractériser les terroirs viticoles à partir de descripteurs de la géologie et de la pédologie des différents milieux rencontrés, couplées à des données climatiques. Cette approche peut être efficacement complétée par une description fonctionnelle, basée sur des indicateurs d'état de la vigne.

Les principaux phénomènes qui concourent à la qualité de la baie de raisin (croissance végétative, fructification, cinétiques d'accumulation ou de disparition de composés bénéfiques ou préjudiciables) sont en liaison étroite d'une part avec l'offre du milieu qui évolue constamment au cours d'un cycle réalisé généralement sous contrainte environnementale (hydrique ou minérale) et d'autre part avec la demande de la vigne qui varie avec la phénologie et les interventions culturales. De nombreux travaux consacrés à l'alimentation en eau de la vigne ont montré qu'une limitation de la disponibilité hydrique était un facteur important de qualité (SEGUIN, 1986 ; MATTEWS and ANDERSON, 1988 ; VAN LEEUWEN et SEGUIN 1994 ; KOUNDOURAS *et al.*, 1999).

Le fonctionnement de la plante relève de déterminismes multifactoriels. Il est donc nécessaire de quantifier et de structurer ces déterminismes, soit par l'utilisation de modèles fonctionnels, soit par l'utilisation de marqueurs (plante ou sol) à caractère intégrateur. Trois de ces marqueurs vont être présentés ci-après.

L'arrêt de croissance de la vigne est généralement déterminée par l'apparition d'un déficit hydrique. Un arrêt précoce pendant la période de maturation favorise l'alimentation carbonée de la baie. Il améliore également le potentiel œnologique du raisin en améliorant le micro climat lumineux de la canopée et de la grappe. Il existe de nombreuses techniques pour évaluer le régime hydrique de la vigne, mais aucune ne permet une mesure facile sur un grand nombre de parcelles à un coût réduit, permettant d'évaluer de façon globale et intégrative les conditions d'alimentation en eau de la vigne au cours de la saison (VAN LEEUWEN *et al.*, 2001a).

Le rapport isotopique $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ dans les produits primaires de la photosynthèse varie en fonction des conditions d'alimentation en eau de la plante. Il est montré dans ce travail que le rapport $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (appelé $\delta^{13}\text{C}$), mesuré sur les sucres du moût, constitue un bon indicateur du régime hydrique de la vigne pendant la période de maturation.

En l'absence de fertilisation azotée minérale, ce qui est souvent le cas en vignoble de cru, l'alimentation en azote de la vigne dépend en grande partie de paramètres liés au sol au travers de la minéralisation (matières organiques, pédoclimat, texture, biomasse microbienne ...). Dans ces conditions, l'absorption de l'azote par la vigne apparaît comme une des composantes de l'effet terroir. On dispose essentiellement de deux indicateurs azotés de la plante : la teneur en azote des limbes et la teneur en azote des moûts (azote total ou assimilable, SOYER, 1996 ; VAN LEEUWEN *et al.*, 2001b). L'appréciation des teneurs en azote (foliaire ou moût) en relation avec l'alimentation azotée de la vigne nécessite l'établissement de valeurs seuils, propres à chaque cépage, et différentes selon l'élaboration de vins en rouges ou en blancs. Des relations entre quelques indicateurs de niveau de nutrition azotée seront présentées.

L'offre en eau et en azote interviennent dans l'expression de la vigueur et du rendement. En fonction du niveau d'alimentation en azote de la vigne, la constitution du raisin et la qualité du vin peuvent en être profondément modifiées. L'expression végétative est généralement appréciée par la mesure du poids de bois à la taille et de la biomasse aérienne foliaire (surface foliaire). L'évaluation de cette dernière est exigeante et ne permet pas d'envisager de nombreuses répétitions dans un réseau de parcelles au sein d'une appellation. L'évaluation non destructive de la biomasse aérienne produite annuellement par une vigne adulte a été développée sur la base de relations allométriques (corrélation entre les différents caractères morphologiques d'un organisme, la vigne en l'occurrence). Cette étude mettant en évidence la liaison directe entre le poids de bois de taille et la surface foliaire développée fera l'objet de la troisième partie de ce document.

MATERIEL ET METHODES.

Réseaux expérimentaux.

La première partie de l'étude est conduite sur un réseau expérimental de 9 micro parcelles de 100 ceps chacune, situé sur la commune de Saint-Emilion (Gironde, France). Ce réseau résulte de la combinaison entre les trois principaux cépages rouges du Bordelais (*Vitis vinifera* L. var. Merlot, Cabernet franc et Cabernet-Sauvignon) et trois sols, un sol graveleux (G), un sol à sous-sol très argileux (A) et un sol sableux avec une nappe d'eau à portée des racines (S). Ces trois sols ont été choisis pour leur comportement hydrique contrasté, notamment en année sèche.

Mesure du rapport isotopique $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$

Le rapport isotopique $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}$) est mesuré sur les sucres de la baie à maturité. Le rapport $\delta^{13}\text{C}$ des sucres est mesuré directement sur le moût autoclavé. Le contenu isotopique du carbone a été déterminé à l'aide d'un spectromètre de masse à flux continue (Europe Scientific Ltd., Crewe, UK). Les résultats sont exprimés par rapport au standard Pee Dee Belemite :

$$\delta^{13}\text{C} = \frac{\text{Rs} - \text{Rb}}{\text{Rb}} * 1000 \text{ (exprimé en } \text{‰})}$$

Où : Rs est le rapport $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ dans l'échantillon et

Rb est le rapport $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ du standard PDB.

La constitution isotopique du CO_2 atmosphérique donne un $\delta^{13}\text{C}$ de -8 ‰ (FARQUHAR, 1989). L'erreur sur la mesure est de ± 0.0121 (au seuil de 5%) et le coefficient de variation de 0.2%.

Mesures de biomasse aérienne et de longueurs.

En 1998, 1999 et 2000 des rameaux primaires et secondaires ont été prélevés sur des souches du Domaine de Couhins (INRA-Bordeaux) à des stades phénologiques clés (débourrement, floraison, fermeture de la grappe, véraison et maturité) dans un dispositif expérimental comparant 4 niveaux de vigueur végétative de la vigne.

Les diamètres, longueur et poids des rameaux primaires et secondaires, poids des feuilles primaires et secondaires, ainsi que diamètre du pédoncule et le poids de grappes ont été mesurés. À partir de ces données, des équations allométriques générales ont été établies, pour estimer le poids de feuilles primaires et secondaires, rameaux primaires et secondaires et grappes à partir des dimensions physiques des rameaux et pédoncules respectivement. Parallèlement, les mesures de longueur et de diamètre (rameaux et grappes) sur 48 souches indépendantes (4x12 souches) ont servi au test et à la validation des équations. L'introduction de la somme de degrés-jour comme variable explicative supplémentaire dans l'équation permet de s'affranchir du millésime et du stade de croissance.

Détermination de l'azote des feuilles et des moûts.

Toutes les formes d'azote du moût (acides aminés, protéines...) doivent être transformées en azote ammoniacal. Cette transformation est obtenue par une minéralisation à chaud en milieu fortement acide (attaque de type Kejdahl, H_2SO_4 concentrée + H_2O_2). Le cation NH_4^+ est ensuite transformé en NH_3 par ajout d'un excès de NaOH 10N. Le NH_3 est dosé par spectrophotométrie. Les limbes de feuilles sont prélevés à la mi véraison et les moûts à la récolte.

Un dispositif mis en place sur le domaine INRA de Couhins (Gironde) nous a permis d'étudier l'incidence de la fertilisation azotée sur l'expression végétative de la vigne et sur la teneur en azote des moûts. Il s'agit de dispositif enherbé, demi-enherbé (1 rang sur 2) et désherbé (suivi sur 7 millésimes 1994 à 2000).

RESULTATS-DISCUSSION

I Pertinence du $\delta^{13}C$ comme indicateur global de la contrainte hydrique subie par la vigne durant la maturation du raisin.

Sur 4 années, le suivi du régime hydrique a été réalisé sur 9 parcelles (3 sols, 3 cépages et 4 millésimes). La corrélation obtenue entre le rapport isotopique, mesuré sur les moûts à maturité et le potentiel foliaire minimal atteint durant la période de maturation, est très significative ($R^2=0.81$, figure 1). Pour les 4 années, le potentiel foliaire minimal a toujours été atteint durant la phase mi-véraison/maturité: Si on exprime le $\delta^{13}C$ en fonction du potentiel foliaire de base minimal mesuré à la mi-véraison, la relation, bien que significative, est nettement moins bonne ($R^2=0.58$, données non montrées). Le rapport $\delta^{13}C$, mesuré sur les sucres à maturité, permet donc d'intégrer le niveau de contrainte hydrique subi par la vigne durant la période de maturation.

II Effet du sol, du millésime et du cépage sur le $\delta^{13}C$.

Les propriétés du sol (réserve utile, potentiel matriciel de l'eau dans le sol) et le climat millésime (précipitations et ETP) influencent le régime hydrique de la vigne. Une analyse de variance à 3 facteurs montre un effet hautement significatif du sol et du millésime sur le $\delta^{13}C$ (tableau 1). Les sols sont classés du plus sec au plus humide (G<A<S), ainsi que les millésimes (1998<2000<1999~1997). Seule la différence entre 1997 et 1999 est faible et statistiquement non significative. Il existe aussi un effet cépage avec des valeurs plus négatives pour le Merlot, pouvant traduire une plus faible efficacité de l'eau de ce cépage.

III Etat nutritionnel azoté de la vigne et teneur en azote dans les moûts.

Les teneurs en matières organiques des sols de ces parcelles sont faibles (<0,9%), inférieures à la moyenne des vignes de la région (1,5%). L'enherbement n'améliore que faiblement la teneur en matières organiques des sols et affecte tous les indicateurs de la nutrition azotée de la vigne (azote des feuilles, des pétioles, des bois et des raisins, données non montrées). La figure 2 met en évidence la relation étroite qui relie la teneur en azote des limbes à la mi-véraison à celle des moûts à la récolte. Globalement, on peut délimiter « 3 zones » : i) pour des situations pauvres en azote (enherbées) les teneurs en azote des moûts sont faibles (< 200mg/l de moût), la relation est presque linéaire, ii) des teneurs considérées comme normales sont données par la situation ½ enherbée, iii) des teneurs en azote des limbes élevées donnent des teneurs élevées dans les moûts mais la courbe subit un aplatissement, indice d'un fonctionnement différent : à une teneur en azote des limbes peut correspondre une large gamme de teneur en azote des moûts (> 250 mg/l).

On note aussi que la sensibilité de l'indicateur azote des limbes est plus faible que celle du moût : alors que l'amplitude variation de l'azote des limbes est seulement de 50 %, l'azote des moût varie d'un facteur 5.

IV Relation allométrique chez le vignes.

La figure 3 montre les diverses relations d'allométrie mises en évidence lors des diverses mesures effectuées aux différents stades clés indiqués (un total de 2790 points). Les relations les plus significatives concernent les poids des rameaux primaires et les poids de feuilles (primaires et secondaires) correspondant. Afin de générer des équations d'allométrie valables quelle que soit la saison (augmentation de la densité du bois au cours du cycle), la variable des degrés-jours cumulés a été ajoutée systématiquement comme variable explicative au modèle de régression,

La relation finale est la suivante :

$$\log(Wps) = \log k + a.\log(Dm) + b.\log(L) + c \log(^{\circ}dd) + d \log(npl)$$

avec : Wps : poids de matière sèche des rameaux primaires

Dm : diamètre à mi-hauteur

L : longueur du rameaux

$^{\circ}dd$: somme de degrés-jour en base 10°C

npl : nombre de feuilles primaires

a, b, c, d et k : paramètres

Le terme « vigueur » est souvent utilisé comme terme générique. Cette notion est souvent décrite par une quantité de biomasse et une vitesse d'élaboration. Une vigueur élevée a pour conséquence un retard de maturité et un détournement des produits de la photosynthèse vers les rameaux qui constituent, dans ce cas, des récepteurs plus actifs de métabolites. Il apparaît alors un déséquilibre dans la gestion des sucres et des acides, ainsi qu'un déficit dans l'accumulation des composés phénoliques, au détriment à la qualité des raisins. La cinétique de l'allocation du carbone dans les différents organes de la vigne au cours du cycle est une information directe pour décrire le fonctionnement de la vigne. Ces relations d'allométrie, une fois qu'elles ont été établies pour une zone, permettent une rapide évaluation de la biomasse aérienne produite annuellement par une vigne adulte, à partir d'un échantillonnage limité de sarments prélevés, sur lesquels on mesure leurs dimensions, le poids et la surface foliaire. Le poids de bois de taille est une estimation finale classique de la croissance végétative des vignes. Il est peu dépendant des pratiques de taille en vert qui concernent en général des rameaux non lignifiés. Il est par contre fortement dépendant de la hauteur de rognage. Des facteurs correctifs sont appliqués, basés sur la mesure du poids de bois par unité de longueur.

On dispose actuellement des différents indicateurs relatifs au fonctionnement azoté de la vigne au vignoble : l'azote des limbes (intégrateur du fonctionnement de la vigne durant la première partie du cycle en liaison avec les réserves de la plante), l'azote des moûts (caractérisant la phase de maturation estivale) et l'azote des bois à la taille (intégrateur de l'ensemble du cycle de la vigne). Ces trois indicateurs azotés sont corrélés entre eux et traduisent la fertilité du sol. Chacun d'eux apporte une information complémentaire, permettant de caractériser les terroirs.

Une contrainte hydrique modérée de la vigne est un facteur très important pour l'obtention de raisins de qualité dans le cas des vins rouges. Le niveau de contrainte hydrique subie par la vigne dépend de la nature du sol (texture et profondeur), du climat (précipitations et ETP) et du matériel végétal (cépage et porte-greffe). Pour un millésime donné, nous avons vu que le $\delta^{13}C$ était capable de différencier les sols d'après leur fonctionnement hydrique, en liaison avec la réserve utile. Bien qu'encore qualitatif, cet indicateur apparaît comme un complément à la caractérisation des terroirs, en tant que critère difficile à appréhender et le plus impliqué dans la qualité de la récolte : la disponibilité hydrique au cours du cycle. De plus, la facilité de collecte des échantillons (baies), le faible volume nécessaire (gestion pratique) et le faible coût d'analyse rendent possible un usage extensif de cette méthode dans le cadre de la caractérisation d'un grand nombre de parcelles.

BIBLIOGRAPHIE

FARQUHAR G.D., K.T. HUBICK, A.G. CONDON, and R.A. RICHARDS., 1989. Carbon isotope fractionation and plant water use efficiency in stable isotopes. *In : Ecological Research. Ecological Studies*, **68**. Springer Berlin, pp. 525.

KOUNDOURAS S., VAN LEEUWEN C., SEGUIN G. and GLORIES Y., 1999. Influence de l'alimentation en eau sur la croissance de la vigne, la maturation des raisins et les caractéristiques des vins en zone méditerranéenne (exemple de Némée, Grèce, cépage Saint-Georges, 1997). *J. Int. Sci Vigne Vin*, **33**, n°4, 149-160.

MATTHEWS M. and ANDERSON M., 1988. Fruit ripening in *Vitis vinifera* L.: responses to seasonal water deficits. *Am. J. Enol. Vitic.*, **39**, n°4, 313-320.

SEGUIN G., 1986. "Terroirs" and pedology of vinegrowing. *Experientia*, **42**, 861-873

SOYER J-P, 1996. Le sol et les pétioles s'analisent à tour de rôle. *La Vigne*, n° 65, 30-31.

VAN LEEUWEN C., CHONE X., TREGAT O., and GAUDILLERE J.P., 2001b. The use of physiological indicators to assess wine water uptake and to manage vineyard irrigation. *Australian Grapegrower and Winemaker*, **449**, 18 - 24.

VAN LEEUWEN C., FRIANT P., RONCO E., JOURDAN C., SOYER J.P., MOLOT C., CHONE X., 2001. Tools for assessing vine nitrogen status; role of nitrogen uptake in the « terroir » effect. *Am. J. Enol. Viti.*, (sous presse)

VAN LEEUWEN C. et SEGUIN G., 1994. Incidences de l'alimentation en eau de la vigne, appréciée par l'état hydrique du feuillage, sur le développement de l'appareil végétatif et la maturation du raisin (*Vitis vinifera* variété Cabernet franc, Saint-Emilion, 1990). *J. Int. Sci. Vigne Vin*, **28**, n°2, 81 - 110.

Tableaux et figures.

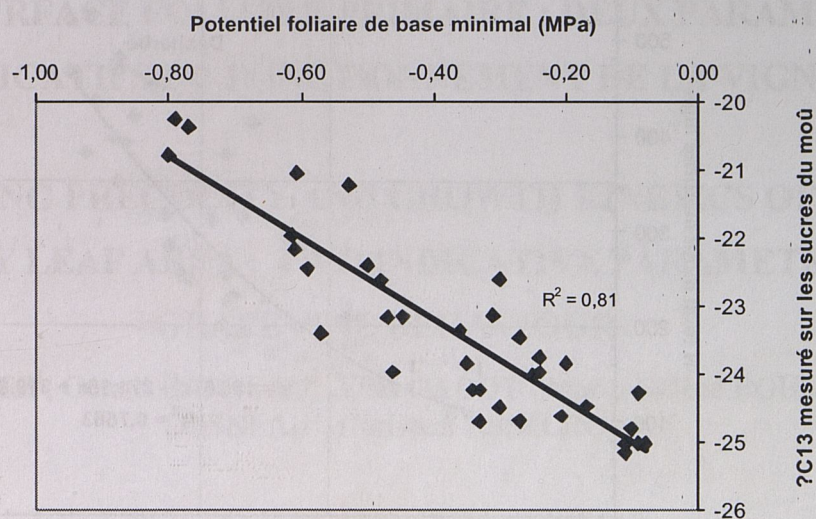


Figure 1 : Corrélation entre le $\delta^{13}C$ mesuré sur les sucres du moût à maturité et le potentiel foliaire de base minimum mesuré au cours de la saison.

Probabilité		
F1 = millésime		
F2 = sol		
F3 = cépage		
Facteur millésime		
	Moyennes	Groupes homogènes
1998	-22,20	A
2000	-23,18	B
1999	-24,05	C
1997	-24,14	C
Facteur sol		
	Moyennes	Groupes homogènes
Graves	-22,05	A
Argile	-23,29	B
Sables	-24,54	C
Facteur cépage		
	Moyennes	Groupes homogènes
Cabernet-Sauvignon	-23,25	A
Cabernet franc	-23,29	A
Merlot	-23,63	B

Tableau 1 : Analyse de variance à trois facteurs effectuée sur les résultats du $\delta^{13}C$.

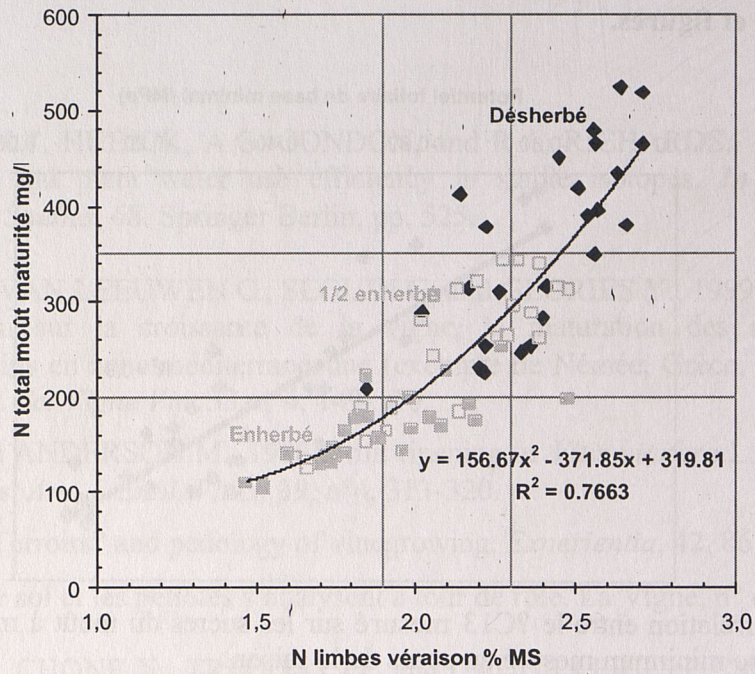


Figure 2 : Relation entre deux indicateurs azoté de la vigne.

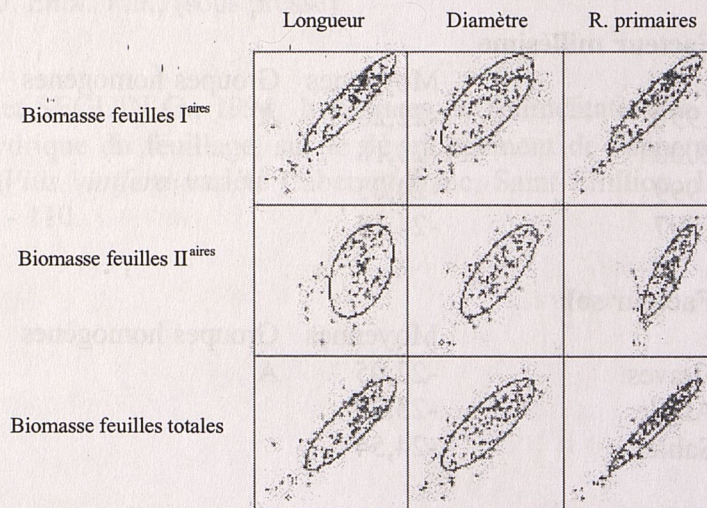


Figure 3 : Relations allométriques chez la vigne.