

APPLICATION DE LA RADIOMETRIE
A L'ESTIMATION DE LA PHYTOMASSE
DES FORMATIONS HERBEUSES
SAHELIENNES

M. GROUZIS et M. METHY

Atelier. FAO-ISRA : Méthodes d'inventaire et de surveillance
continue des écosystèmes pastoraux sahé-
liens - application au développement.

DAKAR. 16-18 Novembre 1983.

APPLICATION DE LA RADIOMETRIE
A L'ESTIMATION DE LA PHYTOMASSE
DES FORMATIONS HERBEUSES
SAHELIENNES

M. GROUZIS* et M. METHY**

* Section Ecologie Végétale, ORSTOM - B.P. 182 OUAGADOUGOU
République de Haute-Volta

** Département de Physiologie Ecologique du C.E.P.E. Louis
Emberger, C.N.R.S. - B.P. 5051 - 34033 MONTPELLIER CEDEX
FRANCE

Atelier FAO-IRSA : Méthodes d'inventaire et de surveillance
continue des écosystèmes pastoraux sahéliens - application
au développement.

DAKAR, 16, 17, 18 novembre 1983.

I - INTRODUCTION.

Ce travail s'insère dans le cadre d'une étude menée dans le Nord de la Haute-Volta, sur le thème de la structure, de la productivité et de l'évolution des phytocénoses sahé-liennes. La détermination de la productivité des herbages, et de la charge pastorale qui en résulte, essentielle dans l'aménagement d'une zone pastorale, nécessite de nombreuses mesures de la phytomasse. La technique classique de la récolte intégrale, avec coupe et pesée de la végétation, a été jusqu'ici largement utilisée, et a notamment permis de définir une méthode d'évaluation de la phytomasse herbacée à petite échelle (LEVANG et GROUZIS, 1980).

Bien qu'utilisable avec succès, la mesure directe s'avère le plus souvent longue et onéreuse en particulier dans le cas des couverts hétérogènes ; de plus elle ne permet pas de suivre l'évolution d'une même parcelle au cours du temps, en raison de son caractère destructif. De ce fait de nombreuses méthodes ont été développées, telles que : l'établissement de corrélations entre la phytomasse et certaines caractéristiques morphologiques ou l'estimation visuelle par des observateurs entraînés (TADMOR et al. 1975). Diverses méthodes non destructrices revues par TUCKER (1980), utilisant l'effet capacitif (ALCOCK et LOVETT 1967), l'atténuation d'un rayonnement ionisant bêta (MITCHELL 1972) ou gamma (UNGER 1967), ou encore les propriétés du rayonnement solaire transmis par le couvert végétal (JORDAN 1969) ou réfléchi vers la basse atmosphère (JENSEN 1980) ont par ailleurs été proposées.

Les résultats obtenus par ce dernier type de méthode sont prometteurs. Cependant les observations n'ont été réalisées que sur des végétations prairiales monospécifiques (Bouteloua gracilis : PEARSON et al. 1976 ; Dactylis glomerata : METHY 1977) exception faite à notre connaissance, des travaux de THALEN et al. (1980). De plus les individus présentaient à l'instant des mesures, le même stade phénologique. L'application de la méthode à d'autres types de végétation demande donc à être précisée.

Le but du présent travail est d'étudier les réponses d'un radiomètre à une gamme de types de végétation plurispécifique sahélienne, d'architecture et de composition floristique variées. Il se propose aussi de déterminer les effets du stade phénologique sur les paramètres d'étalonnage et de comparer les résultats obtenus par la méthode directe et ceux issus des mesures radiométriques.

II - MATERIELS ET METHODES.

1. Caractéristiques écologiques de la région d'étude.

Le bassin versant de la mare d'Oursi, cadre de ces recherches, se situe au Nord de la Haute-Volta entre les méridiens 0°10' ; et 0°40' Ouest et les parallèles 14°20' et 14°50' Nord. Il s'étend sur la bordure septentrionale de la zone soudano-sahélienne d'AUBREVILLE (1949). Celle-ci est caractérisée par une longue saison sèche (Octobre à Mai), et une courte saison pluvieuse. La pluviométrie annuelle moyenne (1976-1980), répartie en 42 jours de pluie est de 412 mm. L'évapotranspiration PENMAN moyenne pendant la même période est de 2671 mm.

La végétation est constituée d'une strate herbacée à base de plantes annuelles à cycle court et d'une strate arbustive plus ou moins lâche. Les spectres biologiques révèlent la dominance des thérophytes (50 à 70 % des espèces) et des phanérophytes, types biologiques qui présentent la meilleure adaptation écologique à la saison défavorable (GROUZIS, 1979). L'analyse floristique souligne l'importance des graminées dont la contribution spécifique atteint 97 % dans les groupements sur glacis ; les légumineuses sont par contre bien représentées dans les terrains à texture sableuse.

2. Principe physique de la méthode.

La méthode est basée sur l'existence dans le proche infrarouge (notamment aux alentours de 800 nm) d'une corrélation positive entre réflectance et phytomasse. La corrélation entre ces deux paramètres est au contraire négative dans les longueurs d'ondes du R.P.U. (Rayonnement photosynthétiquement utilisable) correspondant à l'absorption chlorophyllienne (plus particulièrement aux alentours de 680 nm). C'est le rapport des deux réflectances qui est utilisé de manière à accroître la sensibilité de la méthode.

Le radiomètre se compose dans son principe (METHY 1977), de deux cellules photoélectriques au silicium, équipées chacune d'un filtre interférentiel à couches métalliques dont les pics de transmission sont respectivement de 676 nm et de 802 nm pour l'appareil utilisé. Un système de diaphragmes limite le champ angulaire à 25°. Pour une distance de 1,25 m, ces deux ensembles visent une même cible, assimilable à une surface circulaire d'un diamètre de 0,55 m. Un millivoltmètre d'une résolution maximale de 100 μ V permet la mesure de la tension aux bornes des résistances de charges des photocellules. Cette tension est proportionnelle à la luminance spectrale énergétique des cibles visées, c'est-à-dire la puissance rayonnée par unité d'angle solide (ou intensité) ramenée à l'unité de surface émettrice apparente.

La détermination effective des réflectances monochromatiques implique la visée d'un écran étalon à l'instant des mesures. Cependant, la distribution spectrale du rayonnement global varie peu au cours d'une journée sereine (HOUSSARD 1979), et le rapport des énergies monochromatiques

incidentes est sensiblement constant. Pour une cible donnée le rapport des réflectances recherché est donc en fait égal, à un facteur d'appareil près, au rapport R des tensions délivrées par le radiomètre.

La fraction réfléchie du rayonnement solaire, qui dépend de l'architecture du couvert, des propriétés optiques des feuilles et du sol, varie en fonction de la hauteur angulaire du soleil au dessus de l'horizon. Il en est de même pour le rapport des deux réflectances monochromatiques choisies et on voit apparaître la nécessité d'effectuer, sur le matériel végétal étudié, une analyse préalable de cet effet, pour permettre une comparaison des mesures relatives à des hauteurs solaires différentes. Cette analyse comportera l'établissement de la courbe $R = f(h)$ sur une cible représentative. En affectant une valeur unitaire au rapport obtenu pour la hauteur du soleil choisie pour les normalisations ultérieures (par exemple 60°) il est possible d'obtenir une courbe de normalisation permettant d'attribuer à chaque hauteur du soleil un facteur de normalisation. Le produit par ce facteur des valeurs de R donne des mesures normalisées comparables entre elles.

3. Matériel végétal.

Six unités de végétation correspondant à des structures et à des situations écologiques bien contrastées ont été retenues pour étudier les possibilités d'utilisation du radiomètre. Elles sont représentées sur la figure 1.

4. Protocole de mesures.

Trente à trente cinq échantillons, réunissant une large gamme de biomasse, ont été répartis dans le groupement végétal étudié, pour tenir compte de son hétérogénéité. Après les mesures radiométriques réalisées à 1,25 m du sol, le matériel végétal est coupé à ras du sol, sur une surface circulaire de $1/4$ de m^2 .

Dans le glacis à placages sableux de Gountouré les échantillons ont été distribués dans les deux sous-unités, mais ont ensuite été réunis, car à l'échelle de l'utilisation pastorale, l'ensemble de ce groupement constitue une homogénéité certaine. Le poids de matière fraîche est mesuré sur le terrain ; la teneur en eau est déterminée par dessiccation à l'étuve à $85^{\circ}C$ jusqu'à l'obtention du poids constant. Les mesures ont été renouvelées aux différents stades phénologiques (végétatif, montaison, floraison - fructification, dessèchement). Rappelons que le stade phénologique est caractérisé par celui de ou des espèces dominantes puisque le cycle phénologique des taxons constituant la population n'est pas synchroné (GROUZIS 1979).

III - RESULTATS

1. Effet de la structure de la végétation.

Conformément aux résultats obtenus sur les variations du rapport des signaux photoélectriques en fonction de la hauteur angulaire du soleil (GROUZIS- METHY, 1983) toutes les données ont été normalisées (pour la hauteur correspondant au palier). Les résultats relatifs aux différents groupements pour le stade phénologique correspondant au maximum de biomasse sur pied sont représentés sur les graphiques de la figure 2.

Les variations de la phytomasse en fonction du rapport de réflexion R ont été ajustées à une droite d'équation générale $Y = ax + b$, où Y est la phytomasse herbacée épigée en $g_{MS} \cdot m^{-2}$ et x le rapport de réflexion infrarouge/rouge. Les liaisons sont toutes hautement significatives ($\alpha = 0,01$) quel que soit le type structural. Les valeurs du coefficient de détermination (r^2) à ce stade phénologique montrent en moyenne pour les six groupements, que 70 % de la variabilité de la phytomasse herbacée sont expliqués par les variations du rapport R. L'observation des graphiques de la figure 2 révèle une assez grande dispersion des points échantillonnés. Ce caractère est imputable à la nature plurispécifique de la végétation, et au protocole de mesure (échantillons différents) qui augmentent la variabilité. Cette dispersion est d'ailleurs plus accusée pour la droite relative à la station de WINDE PROTEGE (fig. 2). La grande dispersion des résultats obtenus pour ce type de végétation malgré son homogénéité apparente s'explique aisément par la morphologie de l'espèce dominante. En effet la hauteur assez élevée d'Aeschynomene indica (60-80 cm) et le caractère plagiotrope de ses rameaux perturbent la réflexion par les strates basses, assez fortement recouvertes. De plus le niveau du toit de la végétation est trop rapproché de la cellule photoélectrique qui se situe à 1,25 m du sol. Les résultats se rapportant à la station de KOLEL (fig. 2), pour laquelle de fortes valeurs de biomasse ont été observées, semblent indiquer un effet de saturation à partir d'une phytomasse d'environ $400 g_{MS} \cdot m^{-2}$. Les droites de régressions relatives aux différents groupements végétaux ont été comparées deux à deux par analyse de covariance (DUNN et CLARK 1974).

STATIONS	WINDE PROTEGEE	GOUNTOURE	OURSI	KOLEL	KOUNI	WINDE
WINDE PROTEGEE $y = 40,6x + 15,4$						
GOUNTOURE $y = 43,1x + 26,9$	NS					
OURSI $y = 55,8x - 41,1$	NS	NS				
KOLEL $y = 58,1x + 36,0$	NS	NS	NS			
KOUNI $y = 78,3x - 72,6$	**	**	**	NS		
WINDE $y = 89,2x - 99,4$	**	**	**	*	NS	

(Tableau 1.)

Stations	Stade Phénologique	Equations	
OURSI	v	$y = 39x - 25,1$	$r = 0,97^{**}$
	m	$y = 41,1x - 17,0$	$r = 0,92^{**}$
	fF	$y = 55,8x - 41,1$	$r = 0,94^{**}$
	d	$y = 142,7x - 118,6$	$r = 0,92^{**}$
KOLEL	v	$y = 46,5x - 35,6$	$r = 0,96^{**}$
	m	$y = 82,4x - 102,8$	$r = 0,88^{**}$
	fF	$y = 58,1x + 36,0$	$r = 0,78^{**}$
KOUNI	fF	$y = 78,3x - 72,6$	$r = 0,94^{**}$
	d	$y = 356,5x - 335,8$	$r = 0,94^{**}$
WINDE	v	$y = 24,2x - 6,2$	$r = 0,87^{**}$
	m	$y = 55,1x - 33,5$	$r = 0,84^{**}$
	fF	$y = 89,2x - 99,4$	$r = 0,85^{**}$
	d	$y = 274,7x - 250,5$	$r = 0,84^{**}$
WINDE PROTEGE	v	$y = 15,2x + 29$	$r = 0,61^{**}$
	f	$y = 37,3x - 22,6$	$r = 0,64^{**}$
	F	$y = 40,6x + 15,4$	$r = 0,73^{**}$
	d	$y = 771,5x - 817,8$	$r = 0,76^{**}$
GOUNTOURE	v	$y = 22,5x - 7,8$	$r = 0,94^{**}$
	m	$y = 50,9x - 11,7$	$r = 0,84^{**}$
	fF	$y = 43,1x + 26,9$	$r = 0,76^{**}$
	d	$y = 182,4x - 130,7$	$r = 0,67^{**}$

Tableau 2.

L'analyse du tableau 1, qui donne la signification du coefficient de FISHER dans la comparaison des pentes des droites, permet globalement de discriminer deux groupes :

- les stations de WINDE PROTEGEE, GOUNTOURE, OURSI et KOLEL qui, à l'exception de la première correspondent au sol clair à texture sableuse et ayant les espèces communes suivantes : Zornia glochidiata, Cenchrus biflorus, Aristida mutabilis, Alysicarpus ovalifolius...

- les stations de WINDE et KOUNI, établies sur sol foncé, à texture limono-argileuse et constituées essentiellement de Scheonefeldia gracilis et Panicum laetum. L'analyse statistique par analyse de covariance montre qu'il est possible de confondre les droites relatives à ces deux stations.

(F calculé = 0,037 [1 ; 61] < 4).

L'équation commune est : $y = 83,0 x - 82,2$ avec $r = 0,90$. La même analyse réalisée avec les droites correspondantes à GOUNTOURE, OURSI et KOLEL, montrent que les différences sont hautement significatives

(F calculé = 14,84 [2 ; 95] > 4,83 pour $\alpha(0,01)$).

Il est donc statistiquement incencevable de formuler une équation commune aux groupements des sols sableux.

2. Effet du stade phénologique.

Les résultats relatifs à l'analyse des effets du stade phénologique sur les paramètres d'étalonnage sont rassemblés dans le tableau 2.

Ils permettent de confirmer un certain nombre de faits préalablement établis, à savoir :

- la nature hautement significative ($P = 0,01$) de la liaison phytomasse - rapport de réflexion,
- la plus grande dispersion de l'échantillonnage pour le groupement à Aeschynomene indica de la station protégée de WINDE (coefficient de corrélation toujours inférieur à celui obtenu pour les autres stations).

Les résultats montrent par ailleurs que les valeurs des pentes s'élèvent généralement au fur et à mesure que l'on s'avance dans le cycle de végétation.

Pour chaque groupement, les pentes des droites relatives à chaque stade phénologique ont été comparées par analyse de covariance. L'analyse montre que les différences entre celles-ci sont généralement hautement significatives, ce qui montre la nécessité d'étalonnage en fonction du stade phénologique.

3. Comparaison des résultats.

Signalons tout d'abord que les résultats ne s'adressent pas exactement à la même cible. La phytomasse sur pied relative à la méthode de la récolte est obtenue par sommation de la matière verte (b) et de la matière morte (g) de plots appariés (méthode de WIEGERT et EVANS; 1964, reprise par CORNET, 1981) et utilisée pour la détermination de la production nette (GROUZIS, résultats non publiés). La cible pour

les mesures radiométriques correspond à un emplacement distant de 0,50 à 1 m de ces plots. Les valeurs moyennes des couples, se rapportant à différents stades de végétation (fig. 3) ont été comparées par le test de STUDENT. Seules les moyennes des couples répertoriés par un astérisque sont significativement différentes. Les valeurs soulignent que les résultats obtenus par mesures directes et mesures radiométriques sont semblables dans près de 90 % des cas si l'on excepte la valeur du 4.8.81 pour la station de WINDE PROTEGE et qui s'explique par des perturbations atmosphériques. Les précisions sur les moyennes (IC / \bar{x} en %) sont comparables (7 à 25 % suivant l'hétérogénéité des groupements) et parfois meilleures dans la détermination radiométrique. Il faut cependant reconnaître que les valeurs correspondant à la mesure directe représentent la somme de 2 facteurs, ce qui augmente la variabilité.

Par ailleurs les valeurs obtenues à la fin du cycle de végétation restent comparables malgré un certain défaut en pigments chlorophylliens. Selon PEARSON et al. (1976) la méthode n'est applicable que si la végétation contient au moins 30 % de matériel vert. Cette limite se rapproche de celle que nous avons donnée (GROUZIS-METHY, 1983) au vue des courbes d'étalonnage en fonction du stade phénologique. Il sera nécessaire de préciser cet aspect par des observations plus poussées et effectuer la comparaison des 2 méthodes sur les mêmes cibles.

IV - DISCUSSION - CONCLUSION.

La technique de détermination de la phytomasse herbacée épigée basée sur les propriétés du rayonnement solaire réfléchi, a été testée sur des végétations spontanées, plurispécifiques sahéliennes de structure et de composition floristique variées.

Bien que l'utilisation de la méthode demande que soient remplies les conditions suivantes :

- opérer par temps serein,
- normaliser les valeurs en fonction de la hauteur angulaire du soleil
- étalonner l'appareil en fonction de la structure de la végétation et des grands stades phénologiques, et malgré la dispersion des valeurs observées dues à la nature hétérogène de la végétation sahélienne (plurispécificité, architecture variée, état de surface différente) et au choix de la méthode d'échantillonnage (multiplicité des cibles pour l'obtention de la gamme de biomasse) les résultats permettent d'exprimer la phytomasse herbacée en fonction des rapports des signaux photoélectriques (802 / 676 nm) par une relation linéaire $y = ax + b$.

Les liaisons sont toujours hautement significatives et au maximum de biomasse les variations de R expliquent en moyenne 70 % de la variabilité de la phytomasse.

Notons que l'étalonnage n'est pas en général transposable d'une unité de végétation à une autre, et pour une même unité, d'un stade phénologique à un autre, chacune manifestant des propriétés optiques et des architectures différentes qui se traduisent par des coefficients d'extinction différents qui ne manqueront pas d'influencer les paramètres d'étalonnage.

La rapidité de la méthode, permet d'accroître sensiblement l'effectif de l'échantillonnage, et par conséquent d'augmenter la précision des mesures de phytomasse et de la capacité de charge qui en découle puisque en milieu sahélien la végétation spontanée représente plus de 90 % de l'alimentation du bétail.

En d'autres termes une meilleure appréciation de la phytomasse permet une meilleure définition des modèles d'exploitation.

Cette méthode facilitera aussi l'obtention des données de phytomasse lors de l'établissement de relations déterministes entre facteurs écologiques et production.

Notons enfin que le faible coût de l'appareillage, son caractère non destructif et la facilité du recueil des informations, permettent d'envisager l'équipement en radiomètres des services technique nationaux pour la surveillance continue des pâturages lorsque toutes les conditions d'utilisation seront pleinement définies.

R E M E R C I E M E N T S

Ce travail a pu être mené à bien grâce à l'aimable collaboration de Messieurs M. LOINTIER et J.L. SALAGER qui ont respectivement mis au point les programmes de calcul des hauteurs angulaires du soleil et d'analyses de covariance.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALCOCK M.B. et LOVETT J.V., 1967. - The electronic measurement of the yield of growing pasture. *J. Agric. Sc., Camb.*, 68, 27-38.
- AUBREVILLE A., 1949. - Climats, forêts et désertification de l'Afrique Tropicale. Soc. Ed. géogr. marit. colon., Paris, 351 p.
- CORNET A., 1981. - Mesure de biomasse et détermination de la production de la strate herbacée dans trois groupements végétaux de la zone sahélienne du Sénégal. *Oecol. Plant.*, 2, (3), 251-266.
- DUNN O.J., CLARK V.A., 1974. - Applied Statistics : Analysis of variance and regression, 307-333, in *Analysis of covariance*. John Wiley and Sons.
- GROUZIS M., 1979. - Structure, composition floristique et dynamique de la production de matière sèche de formations végétales sahéliennes (Mare d'Oursi, Haute-Volta). Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan - Action complémentaire coordonnée DGRST-ORSTOM, 59 p. 15 tabl., 17 fig. h.t.
- GROUZIS M., 1982. - Restauration des pâturages sahéliens. Mise en défens et reboisement - ORSTOM-Ouagadougou, 37 p.

- GROUZIS M., METHY M., 1983. - Détermination radiométrique de la phytomasse herbacée en milieu sahélien : Perspectives et limites. Acta Oecologia, Oecol., Plant., 4, (18), n° 3, 241-257.
- HOUSSARD C., 1979. - Etude de la structure de taillis de chêne pubescent (*Quercus pubescens* Willd). Exemples pris dans les hautes garrigues du Montpelliérais. Thèse U.S.T.L. Montpellier p.
- JENSEN A., 1980. - Seasonal changes in near infrared reflectance ratio and standing crop biomass in a salt marsh community dominated by *Halimione portulacoides* (L.) Aellen, New Phytol., 86, 57-67.
- JORDAN C.F., 1969. - Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. Ecology, 50, 663-666.
- LEVANG P., GROUZIS M., 1980. - Méthodes d'étude de la biomasse herbacée de formations sahéliennes ; application à la Mare d'Oursi, Haute-Volta. Acta Oecologia, Oecol. Plant., Vol. 1, (15), 3, 231-244.
- METHY.M., 1977. - Estimation quantitative de la biomasse aérienne d'un peuplement de graminées par une méthode optique non destructrice. Oecol. Plant. 12, 395-401.
- MITCHELL J.E., 1972. - Analysis of the beta attenuation technique for estimating standing crop of prairie range. Journal of Range Management, 25, 300-304.

- PEARSON R.L., MILLER L.D., TUCKER C.J., 1976. - Hand-held spectral radiometer to estimate gramineous biomass. Applied optics, vol. 15, 416-418.
- THALEN D.C.P., LEEABURG J.A., BECK R., 1980. - Estimating aerial biomass in semi natural vegetation from spectral reflectance measurements. 1. Preliminary experiences. Acta Bot. Neerl, 29, (5/6), 565-578.
- TADMOR N.H., BRIEGHET A., NOY-MEIR I., BENJAMIN R.W., EYALE E. 1975. - An evolution of the calibrated weight estimate method for measuring production in annual vegetation. J. Range Manage., 28, (1), 65-69.
- TUCKER C.J. 1980. - A critical review of remote sensing and other methods for non destructive estimation of standing crop biomass. Grass and Forage Science, 35, 177-182.
- UNGER K., 1967. - The use of gamma rays for the determination of change in biomass with time. in F.E. Eckardt, éd., Fonctionnement des écosystèmes terrestres au niveau de la production primaire. Actes du colloque Copenhague, 229-231. Paris, UNESCO.
- WIEGERT G.R., EVANS C.F., 1964. - Primary production and the disappearance of dead vegetation on an old field in southeastern Michigan. Ecology, 45, (1), 49-63.

LEGENDES

Figure 1. - Aspect des groupements végétaux étudiés.

1. - OURSI, dune : groupement à Zornia glochidiata D.C.,
Heliotropium strigosum Willd., Brachiaria xantholeuca
(Hach. ex. Schinz.) Stapf., Tribulus terrestris L.
2. - KOLEL, piémont sableux : gpt à Alysicarpus ovalifolius
Schum. et Thonn.) J. Léon., Cenchrus biflorus Roxb.,
Schoenefeldia gracilis Kunth, Aristida mutabilis. Trin et
Rupr.
3. - KOUNI-KOUNI, glacis : groupement à Schoenefeldia gracilis
essentiellement.
4. - WINDE TIULUKI, bas-fond : groupement à Panicum laetum
Kunth, Aeschynomene indica L. Echinochloa colona (L.)
Link ; Eragrostis pilosa P. Beauv.
5. - WINDE PROTEGE, bas-fond : groupement pratiquement monospéci-
fique à cause du remplacement des espèces par Aeschynomene indica :
(GROUZIS, 1982).
6. - GOUNTOURE, glacis à placages sableux : groupement constitué
de microbuttes sableuses à Aristida mutabilis et Schoenefeldia
gracilis et de microdépressions, zone d'épandage à Zornia
glochidiata, Tripogon minimus (A. Rich) Hochst ex Steud Panicum
laetum. La photo représente une micropédression.

Figure 2. - Relations entre le poids de matière sèche de la phytomasse épigée et le rapport des signaux photoélectriques relatifs aux deux radiations. (stade floraison-fructification).

Figure 3. - Comparaison des mesures de phytomasse par les méthodes de la récolte (o) et radiométrique (.) - * différence entre moyennes significatives (p = 0,05) -

Tableau 1. - Comparaison des pentes des droites de régression par analyse de covariance. Tableau de signification du coefficient de FISHER.

NS : différence entre pentes non significative ($\chi = 0,05$)
* : différence entre pentes significative ($\chi = 0,05$)
** : différence hautement significative ($\chi = 0,01$)

Tableau 2. - Equations des droites, pour différents stades phénologiques.

v : végétatif ; m : montaison ou début floraison ;
fF : fin floraison - fructification ; d : dessèchement ;
** : liaison hautement significative ($\chi = 0,01$).





