

Bilan de carbone fondé sur Surface Foliaire Exposée, Puissance, Vigueur :
méthode pratique de modélisation du potentiel de maturation du raisin.
Carbon balance based on Exposed Leaf Area, Production of dry matter, Vigor:
a practical method for modeling the ripening potential of grapes.

Alain Carbonneau
ma2.carbonneau3@orange.fr

L'estimation du potentiel de maturation du raisin est un outil de base pour évaluer les diverses techniques et variétés en viticulture. Elle repose sur le calcul d'un bilan de carbone entre trois éléments : la source globale estimée par la Surface Foliaire Exposée potentielle (SFEp), le puits général estimé par la puissance ou production de matière sèche des raisins et des sarments (P), et un élément régulateur majeur concurrent de l'alimentation du raisin en maturation, la vigueur estivale (V). Le calcul de ces différents éléments se fait sur la base des mesures de routine faites dans un vignoble expérimental (poids des bois de taille, poids de récolte, charge en bourgeons), et des mesures de la géométrie du feuillage à partir d'un dessin représentatif moyen, avec les distances de plantation.

La première étape est de calculer le rapport SFEp/P, soit l'équilibre nutritionnel entre la source globale et le puits général (à l'inverse de l'indice de Ravaz) pour estimer la disponibilité générale en alimentation carbonée pouvant se concentrer notamment dans les raisins pendant leur maturation ; ensuite de moduler cet équilibre en fonction de la concurrence apportée par le principal puits concurrent qui est la vigueur estivale.

La Surface Foliaire Exposée potentielle est calculée comme indiqué dans Carbonneau (1995a,b), comme rappelé plus loin.

La Puissance ou production de matière sèche dans les raisins et les sarments est calculée comme : $0,2 R$ (poids de récolte) + $0,5 B$ (poids des bois de taille).

La vigueur estivale est calculée sur la base du poids moyen du sarment, B (poids des bois de taille) / C (charge en bourgeons à la même échelle), qu'il convient de compléter par l'observation des apex vers la véraison : en forte croissance – en faible croissance – à l'arrêt. Les coefficients estimant la concurrence apportée au raisin par la vigueur estivale sont respectivement aux trois cas précédents : $0,8 - 1,0 - 1,2$.

Le bilan de carbone est : **$(SFEp / P) \cdot V$**

Estimating grape ripening potential is a fundamental tool for evaluating various viticultural techniques and varieties. It relies on calculating a carbon balance between three elements: the overall source, estimated by the Potential Exposed Leaf Area (ELAp), the overall sink, estimated by the power or dry matter production of the grapes and shoots (P), and a major regulatory factor competing with the nutrition of ripening grapes, summer vigor (V). The calculation of these different elements is based on routine measurements taken in an experimental vineyard (pruning weight, harvest weight, bud load), and measurements of foliage geometry from a representative average design, along with planting distances.

The first step is to calculate the ELAp/P ratio, which represents the nutritional balance between the overall source and the overall sink (the inverse of the Ravaz index), to estimate the overall availability of carbon, which can be concentrated in the grapes during ripening ; this balance is then adjusted according to the competition from the main energy sink, which is summer vigor.

The potential exposed leaf area is calculated as indicated in Carbonneau (1995a,b), cited later.
The power, or dry matter production, in the grapes and shoots is calculated as: 0.2 R (harvest weight) + 0.5 B (pruning weight).

Summer vigor is calculated based on the mean shoot weight, B (weight of pruning wood) / C (bud load at the same scale), which should be supplemented by observing the apexes towards veraison: strong growth – weak growth – no growth. The coefficients estimating the competition from summer vigor to the grapes are, respectively, 0.8 – 1.0 – 1.2 for the three preceding cases.

The carbon balance is: **(SFEp / P) . V**

En annexe de ce texte il y a l'article actualisé sur le calcul de SFEp incluant notamment celui du périmètre exposable S avec sa formule complète et sa formule simplifiée applicable à toute forme :

- pour 100 m de rang :

$$\text{SFEp (m}^2\text{)} = 100 \cdot [1 - (T/D)] \text{ (m)} \cdot (1-x) \cdot S \text{ (m)}$$

- pour l'hectare (avec nombre de rangs sur 100 m = 100/E) :

$$\text{SFEp (m}^2\text{)} = 100 \text{ (m)} \cdot \text{SFEp (m}^2\text{)} / E \text{ (m)}$$

In annex to this text is the updated article on calculating SFEp, including the calculation of the exposed perimeter S with its complete formula and its simplified formula applicable to any shape:

- for 100 m of row :

$$\text{SFEp (m}^2\text{)} = 100 \cdot [1 - (T/D)] \text{ (m)} \cdot (1-x) \cdot S \text{ (m)}$$

- for hectare (with number of rows on 100 m = 100/E) :

$$\text{SFEp (m}^2\text{)} = 100 \text{ (m)} \cdot \text{SFEp (m}^2\text{)} / E \text{ (m)}$$

En conclusion il est recommandé d'estimer SFEp et le bilan de carbone pour toute interprétation physiologique en particulier pendant la période de maturation du raisin.

In conclusion, it is recommended to estimate SFEp and the carbon balance for any physiological interpretation, particularly during the grape ripening period.

Références bibliographiques / Bibliographic references :

* Surface Foliaire Exposée :

CARBONNEAU A., 1995. La surface exposée potentielle. Guide pour sa mesure. *Progrès Agricole et Viticole*, 112(9), 204-212 + complément 112(10).

et CR GESCO 8 Vairao, 38-48.

* Exemples de méthodes :

CARBONNEAU A., OJEDA H., SAMSON A., PACOS J., JOLIVOT A., HEYWANG M., 2006. Chaîne méthodologique d'analyse de la qualité : exemple du bilan vitivinicole des essais de conduite de la Syrah en terroir sec à l'Unité Expérimentale de Pech Rouge. *CR GESCO 14, Progrès Agricole et Viticole*, 123 (15-16), 291-301.

+ IVES website

* Bilan carbone et modèle simple '(SFE/P).V' (SFE compute using the canopy scheme according to Carbonneau 1995. P=0,2 harvest weight+0,5 pruning weight ; Vigor coefficient : V=1 normal vigor, =1,2 low vigor, =0,8 high vigor) :

CARBONNEAU A., TORREGROSA L., 2020. *Traité de la Vigne. Dunod Ed. Paris*, 3^e édition, 689p. (voir p 204-208).

CARBONNEAU A., ESCUDIER J.-L., 2024. *De l'Œnologie à la Viticulture. Ed. QUAE*. 3^{ème} édition augmentée. 335p. (voir p101).

ANNEXE

LA SURFACE FOLIAIRE EXPOSÉE POTENTIELLE

- GUIDE POUR SA MESURE -

A. CARBONNEAU

Institut Supérieur de la Vigne et du Vin

ENSA.M/INRA UFR de Viticulture

2, Place P. Viala, 34060 Montpellier Cédex 1, France

L'importance du microclimat de la partie aérienne sur la qualité des raisins et des vins a été démontrée pour la première fois par CARBONNEAU (1980). Il a notamment été mis en exergue l'importance de l'absorption du rayonnement par la végétation et surtout celle de sa distribution entre les feuilles.

Dans cette même étude, afin de mettre au point une méthode vulgarisable, il a été proposé de prendre en compte l'effet du microclimat seulement au travers d'une estimation simple du bilan de carbone dont bénéficient les phénomènes de maturation. Un tel bilan repose à la fois sur une estimation du potentiel de photosynthèse, et sur celle de la distribution des sucres au profit du raisin qui est favorisée lors de "stress modérés". Ceci revient en particulier à favoriser les cas d'expositions importantes de la végétation (CARBONNEAU, 1987).

Dans son fondement, cette démarche relève de la modélisation des phénomènes précités. Mais en première approche il a été proposé (CARBONNEAU 1980, 1989 et 1994) de simplifier le calcul au moyen des deux paramètres suivants .

1 . SURFACE FOLIAIRE EXPOSÉE RÉELLE OU SFE

Elle est définie (CARBONNEAU, 1989) comme le produit de l'indice foliaire "LAI" (surface foliaire par unité de surface au sol ou Leaf Area Index), et de l'éclairement moyen de la végétation E (en pourcentage de l'éclairement incident, sur la base de mesures d'échantillonnages de feuilles individuelles définie par CARBONNEAU, 1980, et par CARTHÉRY, 1994). Cette approche a permis d'expliquer bon nombre de résultats écophysologiques ou viticoles ; mais elle reste encore très lourde, surtout lorsqu'il s'agit de mesurer le LAI.

N B : Cette SFE n'est pas équivalente à l'absorption du rayonnement par la végétation, car par construction E ne représente pas le bilan radiatif moyen de la feuille dans la mesure où il ne tient pas compte des pertes. SFE valorise donc de ce fait des situations à microporosité élevée, ce qui va dans des conditions favorables à un "stress modéré".

2. SURFACE FOLIAIRE EXPOSÉE POTENTIELLE OU SFEP

Elle est calculée (CARBONNEAU, 1989 et 1994) sur la base des paramètres morphologiques de la végétation, et estime dans une situation donnée, le potentiel de SFE. Cet outil est utilisable dans la pratique courante.

Rappelons d'abord que ce calcul repose en premier chef sur portrait – robot représentatif de la végétation. A cet effet, des mesures in situ doivent être développées avec suffisamment de précision sur les vignes considérées, soit des mensurations directes, soit des traitements d'images.

Ce croquis doit d'abord faire apparaître le contour moyen de l'enveloppe de la végétation pour deux rangs adjacents représentés en section verticale, avec la mesure des angles de visée v et V . Cf. figure 1.

Il doit ensuite procéder à la détermination de l'Ombre portée moyenne et à celle des zones photosynthétiquement actives. Cf. figure 2.

Il doit aussi positionner sur l'enveloppe le niveau des feuilles—âgées, peu actives pendant la maturation. Cf. figure 3.

Il doit ensuite déterminer Les discontinuités importantes de végétation entre les ceps (il ne s'agit pas de microporosité). Cf. figure 4.

Il doit également déterminer les zones d'ombre, voire de vide, dans l'épaisseur de la végétation. Cf. figure 5. La justification de cette démarche est reliée à la prise en compte du bilan de carbone de deux premières couches de feuilles possédant potentiellement une microporosité idéale, par rapport à celui des autres couches ; elle est explicitée dans les figures annexes 1 et 2.

L'ensemble de ces mesures et calculs aboutit à déterminer une longueur de périmètre exposable S (m) qui revêt un sens plus physiologique qu'énergétique.

Le calcul final de la SFEP pour 100m de rang de vignes est ainsi effectué.

$$\text{SFEP (m}^2\text{/rang)} = 100 \cdot [1 - (T/D)] \cdot (1-x) \cdot S \text{ (m)}$$

Ceci concerne le rang moyen de vignes. La SFEP / ha est obtenue en multipliant la valeur précédente par le nombre de rangs à l'hectare, soit $100 \text{ (m)} / E \text{ (m)}$:

$$\text{SFEP (m}^2\text{/ha)} = 100 \cdot \text{SFEP (m}^2\text{)} / E$$

Les paramètres nécessités par le calcul de la SFEP font partie des paramètres descriptifs obligatoires du système de Conduite (CARBONNEAU, 1994). Voir exemples traités à la fin.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CARBONNEAU A., 1980. Recherche sur les systèmes de conduite de la vigne :essai de maîtrise du microclimat et de la plante entière pour produire économiquement du raisin de qualité. Thèse "Doctorat Œnologie-Ampélogie", Université de Bordeaux II, 240p.
- CARBONNEAU A., 1987. Stress modérés sur feuillage induits par le système de conduite et régulation photosynthétique de la Vigne. 111ème Symp. Int. Physiologie Vigne, Bordeaux, 24-27 juin 1986, OIV Ed. Paris, Section IV, 376-385.
- CARBONNEAU A., 1989. L'exposition du feuillage : définition du potentiel du système de conduite. Système de conduite de la vigne et mécanisation. OIV Ed, Paris, 13-33 et C.R. GESCO, 4, 25-44.
- CARBONNEAU A., 1994. Bilan des résolutions méthodologiques à la suite de la réunion du GESCO de Reims (14-16 Avril 1993). Annexe 1 : La Surface Foliaire Exposée SFE, une notion au service du conseil ou de la réglementation viticole - Annexe 2 : Paramètres descriptifs obligatoires du système ci, conduite. CR. GESCO, 7, 223-228 + p.373.
- CARTHERY C., 1994. Étude de la surface foliaire totale et éclairée en relation avec le palissage chez le Cabernet-Sauvignon et le Mourvèdre. Mémoire de DAA ENSA.M "Viticulture-Oenologie", 37 pp + annexes.
-

CAS DE FIGURE POUR LE CALCUL DE SFEP (figures 1 à 7).

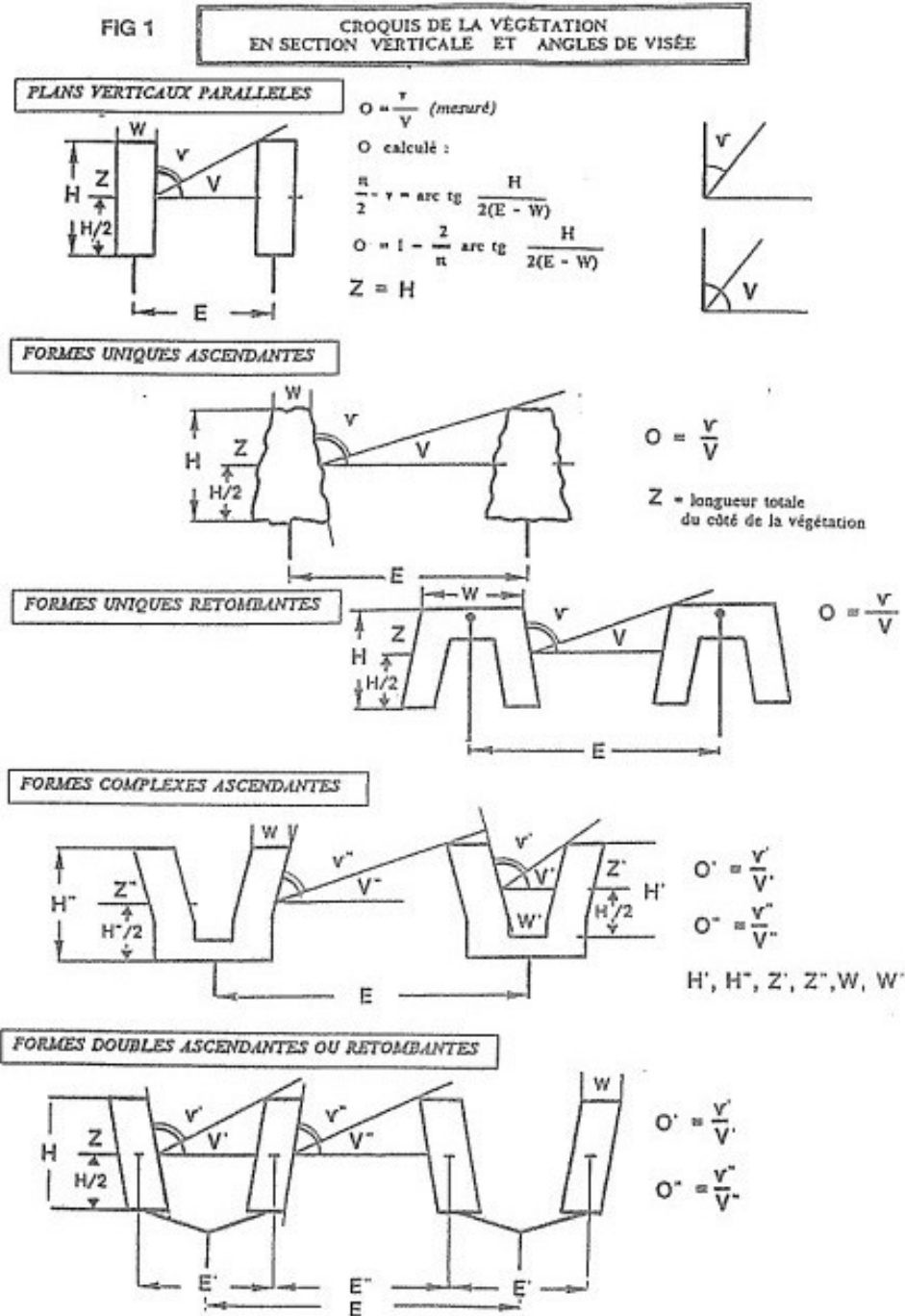
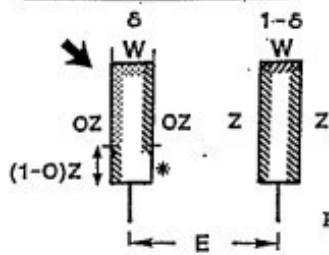


FIG 2

CALCUL DU PERIMETRE EXPOSABLE

Détermination de l'ombre portée moyenne et des zones photosynthétiquement actives dans le cas de ciels clairs (fréquence δ , ex: 2/3) ou de ciels couverts (fréquence $1-\delta$, ex: 1/3)

PLANS VERTICAUX PARALLELES



Coefficient de photosynthèse ϕ	}	= 1	
		= 0,5	
		= 0	

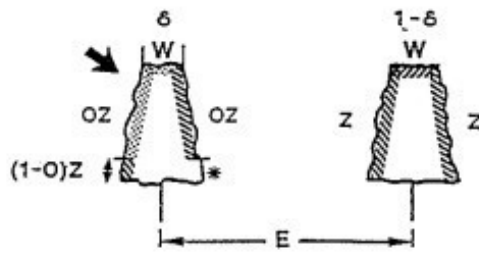
NB. - * indique une zone négligée par ciel clair traduisant la relativement faible pénétration du rayonnement direct par rapport au diffus

Périmètre exposable

$$S = \delta [0,5(1-O)Z + OZ + W + 0,5OZ] + (1-\delta) 0,5[Z + W + Z]$$

initial
(ici Z = H)

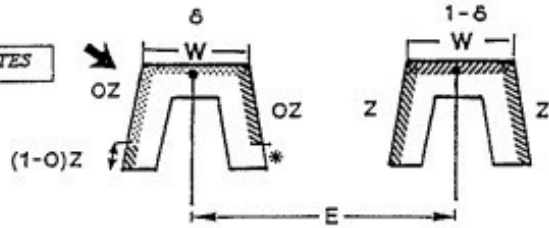
FORMES UNIQUES ASCENDANTES



$$S = \delta [0,5(1-O)Z + OZ + W + 0,5OZ] + (1-\delta) 0,5[Z + W + Z]$$

initial

FORMES UNIQUES RETOMBANTES



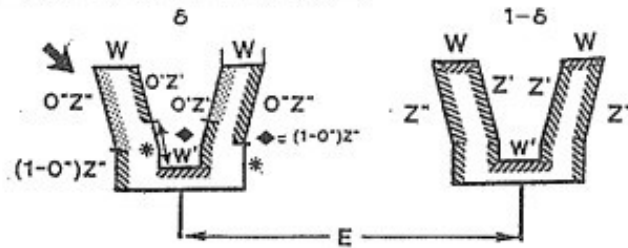
$$S = \delta [0,5(1-O)Z + OZ + W + 0,5OZ] + (1-\delta) 0,5[Z + W + Z]$$

initial

FIG 2 bis

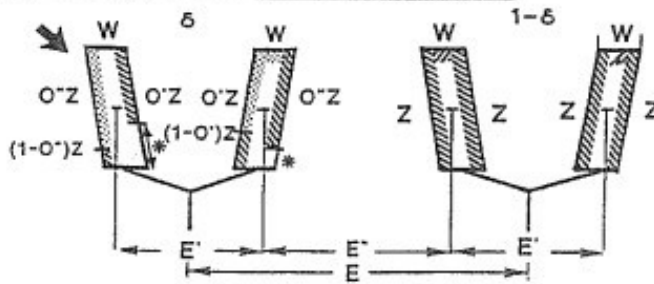
CALCUL DU PERIMETRE EXPOSABLE

FORMES COMPLEXES ASCENDANTES



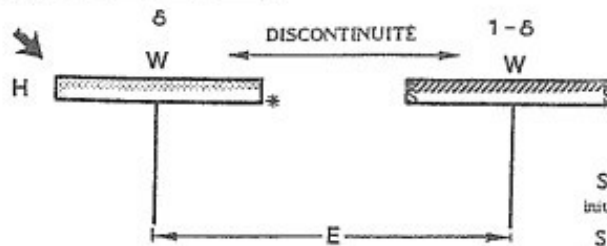
$$S_{\text{initial}} = \delta [0,5(1-O')Z' + O'Z' + W + 0,5O'Z' + 0,5W + 0,5(1-O')Z' + O'Z' + W + 0,5(1-O')Z'] + (1-\delta) 0,5[Z' + W + Z' + W + Z' + W + Z']$$

FORMES DOUBLES ASCENDANTES OU RETOMBANTES



$$S_{\text{initial}} = \delta [0,5(1-O')Z + O'Z + W + 0,5O'Z + 0,5(1-O')Z + O'Z + W + 0,5O'Z] + (1-\delta) 0,5 [Z + W + Z + Z + W + Z]$$

FORME PLANE HORIZONTALE



$$S_{\text{initial}} = \delta(H+W) + (1-\delta)0,5(H+W+H)$$

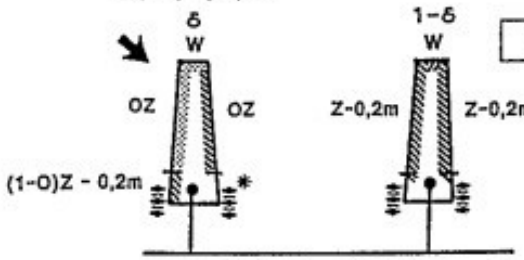
$$S_{\text{initial}} = 0,5(1-\delta)W + H$$

FIG 3

PRISE EN COMPTE DE L'ÉLIMINATION DES FEUILLES AGÉES
PEU ACTIVES PENDANT LA MATURATION,
SUR UNE FRACTION CONNUE DE Z,
SOIT SYSTÉMATIQUEMENT SUR 0,2 m POUR CHAQUE FACE ($\frac{Z}{2}$)

FORMES ASCENDANTES

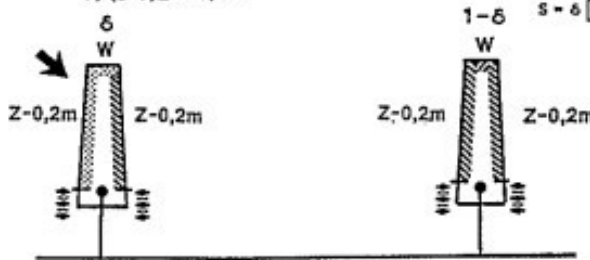
1) $(1-\delta)Z \geq 0,2$ m



$$S = \delta [0,5(1-\delta)Z - 0,5 \times 0,2m + OZ + W + 0,5 OZ] + (1-\delta) 0,5 [Z - 0,2m + W + Z - 0,2m]$$

$$S = S_{\text{initial}} - 0,2m + 0,16$$

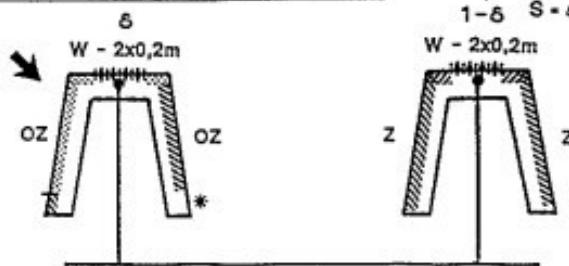
2) $(1-\delta)Z < 0,2$ m



$$S = \delta [Z - 0,2m + W + 0,5(Z-0,2m)] + (1-\delta) 0,5 [Z - 0,2m + W + Z - 0,2m]$$

$$S = S_{\text{initial}} - \delta [1,5 \times 0,2m - 0,5(1-\delta)Z] - (1-\delta)0,2m$$

FORMES RETOMBANTES OU HORIZONTALES



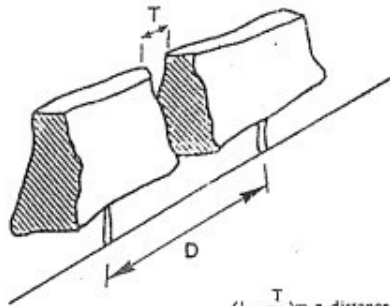
$$S = \delta [0,5(1-\delta)Z + OZ + W - 2 \times 0,2m + 0,5OZ] + (1-\delta) 0,5 [Z + W - 2 \times 0,2m + Z]$$

$$S = S_{\text{initial}} - (1+\delta)0,2m$$

N.B.- Pour les formes complexes ou doubles, appliquer cette démarche séparément aux côtés internes et externes de la végétation.

FIG 4

DISCONTINUITÉS IMPORTANTES LE LONG DU RANG
OU T (m) PAR METRE DE RANG

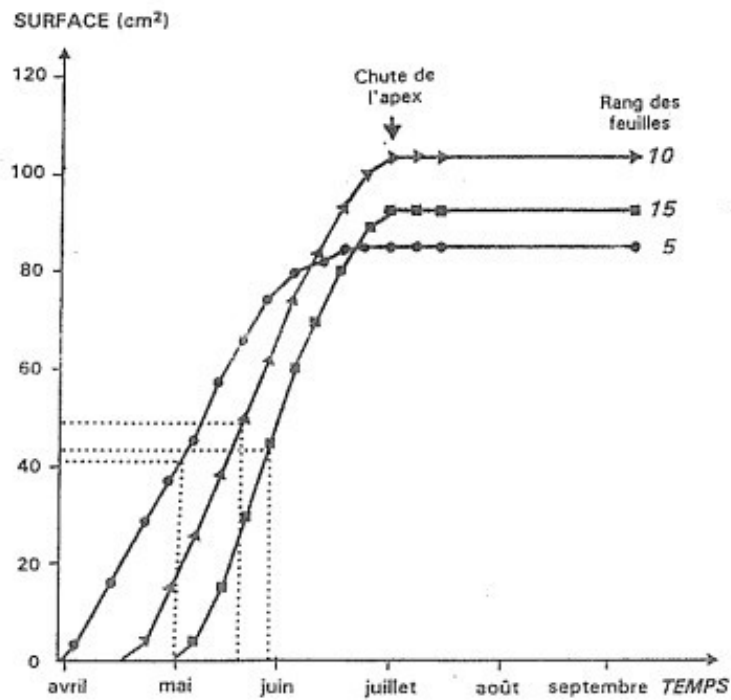


$(1 - \frac{T}{D})m$ = distance réellement occupée
par la végétation le long du rang
par m de rang

COEFFICIENT DE BILAN DE CARBONE DES FEUILLES

FIG 6 Les feuilles de l'enveloppe (0,2m d'épaisseur derrière chaque face) sont considérées

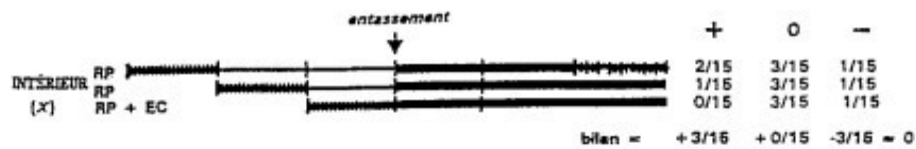
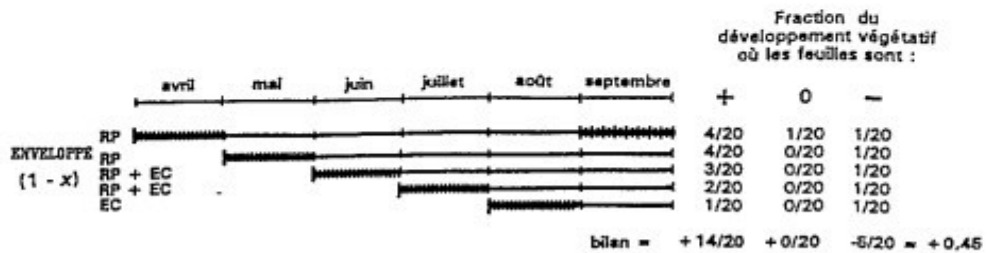
FIG annexe 1



**CROISSANCE DES FEUILLES DE DIFFÉRENTS RANGS
SUR LE SARMENT**

La moitié de la surface finale,
correspondant à un équilibre *importation/exportation* de carbone,
est atteinte au bout d'un mois environ

FIG annexe 2 ESTIMATION DU BILAN DE CARBONE
DES DIVERS TYPES DE FEUILLE



- 3 feuilles jeunes parasites entre le début et les 2/3 de leur croissance (-)
 - 3 feuilles âgées inefficaces pendant la maturation (0)
 - 3 feuilles inefficaces entassées après le palissage ou la croissance des autres (0)
 - 3 feuilles exportatrices à bilan de C largement positif (+)
- RP = feuilles du rameau principal
EC = feuilles des entre-cœurs

SFEp initiale = bilan = 0,45 sur la totalité des feuilles
 SFEp corrigée = bilan = 0,45 (1-x) + 0 (x) = 0,45 (1-x)
 Coefficient de correction = (1-x)

**EXEMPLES : Calcul de S simplifié et commun à toutes les formes de végétation.
 EXAMPLES: Simplified calculation of S common to all forms of vegetation.**

La simplification porte sur la non-prise en compte de l'ombre portée (O) en dispensant de la mesure des angles de visée, également sur la non-prise en compte de la fréquence des ciels clairs et couverts (δ), et sur l'élimination de 0,2m de hauteur de feuillage dans tous les cas en confondant les effets de l'âge des feuilles et de l'ombre portée par ciel clair. Il vient donc :

The simplification involves not taking into account the cast shadow (O) by dispensing with the measurement of sighting angles, also by not taking into account the frequency of clear and overcast skies (δ), and by eliminating 0.2m of foliage height in all cases by conflating the effects of leaf age and the cast shadow under a clear sky. Therefore, we arrive at:

$$S (m) = 2 (Z-0,2) + W, \text{ and } SFEP (m^2/ha) = 10000 \cdot S / E$$

NB :

- pour les formes complexes / for complex forms : $S = 2 (Z-0,2) + 2 W + W'$
- pour les formes doubles / for double forms : $S = 4 (Z-0,2) + 2 W$
- pour les formes libres retombantes ou horizontales /
for free bearing downward or horizontal forms : $S = 2 Z + (W-0,4)$

Exemples d'application au calcul de SFEP (m^2/ha) avec $T=0$ et $x=0$:

Examples of application to the calculation of SFEP (m^2/ha) with $T=0$ et $x=0$:

- Espalier bas 1m entre rangs / VSP low 1m between rows :
 $Z=H=0,8m$ $W=0,4m$ $E=1m \rightarrow SFEP=16000m^2/ha$
- Espalier haut 1,8m entre rangs / VSP high 1,8m between rows :
 $Z=H=1,5m$ $W=0,2m$ $E=1,8m \rightarrow SFEP=15556m^2/ha$
- Espalier haut 3,3m entre rangs / VSP high 3,3m between rows:
 $Z=H=1,6m$ $W=0,4m$ $E=3,3m \rightarrow SFEP=9697m^2/ha$ (moins si / less if : $x>0$)
- Espalier double haut (~Lyre) 3,3m entre rangVSP (~Lyre) 3,3m between rows :
 $Z=1,6m$ $W=0,2m$ $E=3,3m \rightarrow SFEP=18182m^2/ha$
- Volume libre retombant 3,3m entre rangs / Free downward volume 3,3m between rows :
 $Z=1,6m$ $W=0,8m$ $E=3,3m \rightarrow SFEP=10909m^2/ha$ (moins si / less if : $x>0$)
- Toit horizontal couvrant 4,0m entre rangs / Horizontal covering roof 4,0m between rows :
 $Z=H=0,4m$ $W=4,0m$ $E=4,0m \rightarrow SFEP=11000m^2/ha$