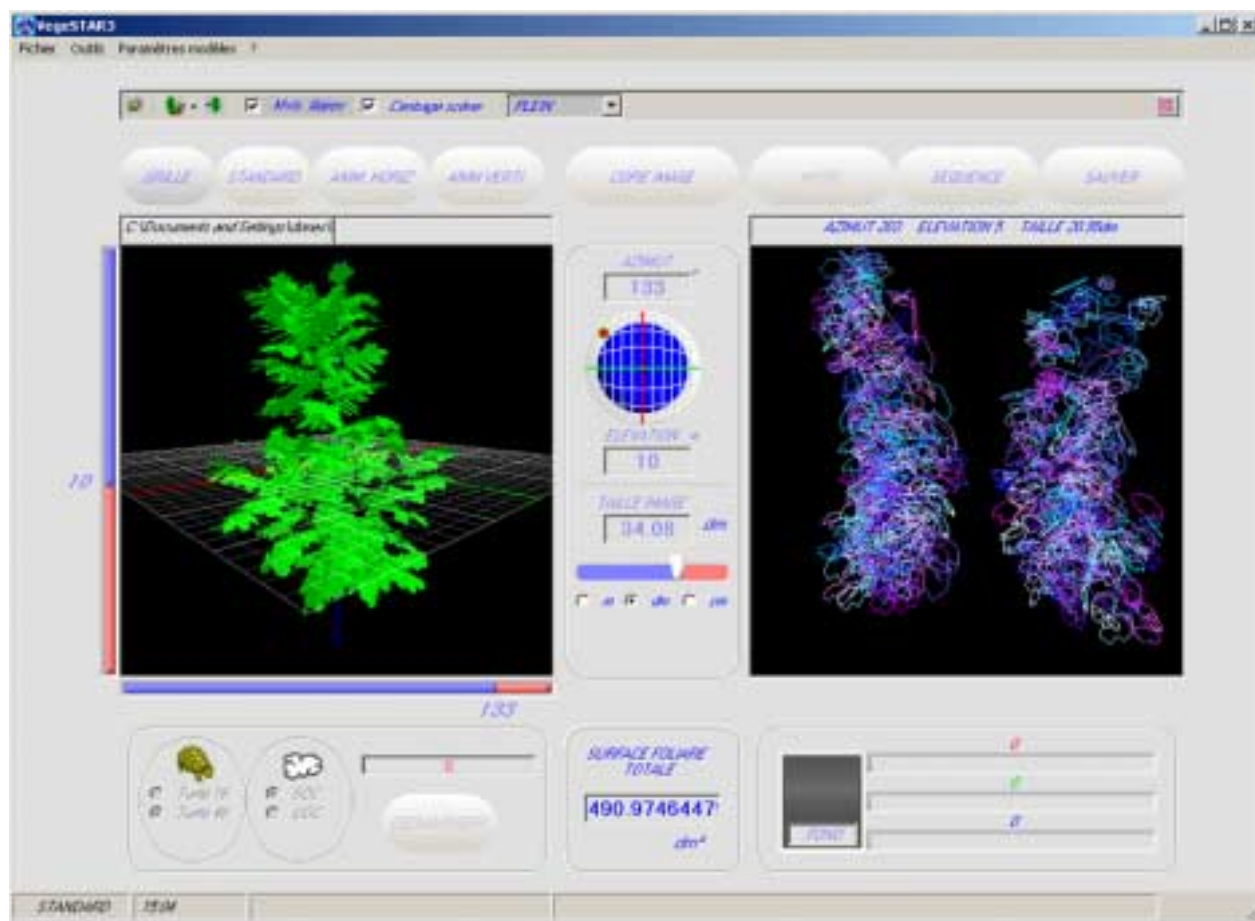


VegeSTAR3

Calcul de l'interception lumineuse et de la photosynthèse

B. ADAM, N. DONES, H. SINOQUET

UMR PIAF, INRA-UBP
site de crouelle
234 avenue du Brézet
63039 Clermont-Ferrand Cedex 2
contact : adam@clermont.inra.fr



I. Principes de calcul	3
I-1. Présentation générale.....	3
I-2. Interception de la lumière.....	3
I-3. Photosynthèse du couvert	3
I-3-1. Principes généraux.....	3
I-3-2. Modèle hyperbole non rectangulaire	4
I-3-3. Modèle de Farquhar	5
II. Fichiers d'entrée.....	6
II-1. Généralités.....	6
II-2. Fichiers Scène.....	6
II-2-1. Entête du fichier	6
II-2-2. Description du couvert	6
II-2-2-1. Scène triangulée	6
II-2-2-2. Scène décrite à partir de formes géométrique de base	7
II-2-2-2-1. Surfaces	7
II-2-2-2-2. Volumes.....	7
II-2-2-2-3. Taille et position	8
II-2-2-2-4. Utilisation d'une feuille Polygone	9
II-2-2-3. Couleurs	9
II-2-2-4. Masque.....	10
II-2-2-5. Groupe	10
II-2-3. Analyse du fichier scène.....	11
II-3. Fichier séquences microclimatiques.....	11
II-3-1. Description du fichier.....	11
II-3-2. Paramètre des modèles	12
II-3-2-1. Modèle de Farquhar	12
III. Fichiers de sortie.....	13
III-1. STAR manuel	13
III-2. STAR automatique	13
III-3. Photosynthèse	14
III-3-1. Aucune d'intégration.....	14
III-3-2. Intégration spatiale.....	15
III-3-3. Intégration temporelle	15
IV. Manuel d'utilisation	16
IV-1. Configuration matérielle.....	16
IV-2. Page principale	16
IV-2-1. Menu	16
IV-2-2. Barre d'outils	16
IV-2-3. Boutons	17
IV-2-4. Visualisation 3D	18
IV-2-5. Fenêtre d'analyse	19
IV-2-6. Surface foliaire.....	19
IV-2-7. Exécution	20
Bibliographie.....	22

I. Principes de calcul

I-1. Présentation générale

VegeSTAR3 est un logiciel qui permet de visualiser des maquettes de plantes 3D, de calculer leur capacité d'interception de la lumière et d'acquisition du carbone par la photosynthèse.

Les plantes sont représentées par une collection d'organes, décrits par un ensemble de triangles ou par des formes géométriques simples : polygones, ellipses, cylindres, cônes, sphères.... Ces formes sont affectées de paramètres géométriques qui permettent de tenir compte de la forme, la taille, l'orientation et la position spatiale des organes.

Les organes peuvent être aussi affectés de fausses couleurs permettant de les identifier dans la scène, ou de propriétés physiologiques pour les calculs de photosynthèse.

I-2. Interception de la lumière

L'interception de la lumière est calculée à partir de l'analyse d'images de synthèse des plantes digitalisées (*Sinoquet et al., 1998*). L'utilisation standard consiste à calculer le STAR (Silhouette to Total Area Ratio, *Stenberg, 1995*) des plantes, c'est-à-dire la surface projetée du feuillage dans la direction du rayonnement incident.

Le principe de la méthode est simple : la surface foliaire qui est vue d'un point représentant la source de rayonnement – par exemple, la direction du soleil – est la surface projetée qui est éclairée par cette source de rayonnement, et donc qui intercepte la lumière. Il suffit donc de compter le nombre de pixels de l'image de la plante, regardée selon la direction du rayonnement. A noter que ce principe de calcul s'applique à du rayonnement directionnel.

Prendre en compte l'ensemble du rayonnement incident (rayonnement direct et diffus) nécessite de représenter la voûte céleste comme un ensemble de sources directionnelles.

L'affectation, par l'utilisateur, de fausses couleurs aux éléments du feuillage permet diverses applications, comme l'estimation du partage de la lumière entre composantes de végétation, de la distribution spatiale de la lumière ou de l'éclairement direct du feuillage.

A noter que cette méthode néglige la rediffusion du rayonnement. Elle permet donc d'estimer l'interception et d'approcher le bilan radiatif dans les domaines spectraux où l'absorption par les feuilles est quasi-totale (eg. les UV., voire le PAR)

I-3. Photosynthèse du couvert

I-3-1. Principes généraux

La photosynthèse des feuilles dépend principalement de l'éclairement des feuilles, de leur température, de la teneur en dioxyde de carbone de l'atmosphère, et des propriétés de photosynthèse foliaire.

Le principe utilisé dans VegeSTAR3 consiste à calculer l'éclairement de chaque feuille ou portion de feuille, puis à affecter à chacune des feuilles une réponse photosynthétique dépendante de leur éclairement.

L'éclairement d'une feuille résulte de l'interception dans l'ensemble des directions du ciel, et des processus de rediffusion – transmission et réflexion de la lumière par les feuilles, réflexion par le sol-. Dans VegeSTAR3, les processus de rediffusion sont négligés, car la réflexion et la transmission des feuilles sont relativement faibles dans la gamme de longueur d'onde utile pour la photosynthèse (400-700 nm). Le rayonnement incident est séparé en rayonnement diffus et rayonnement direct. Le rayonnement

diffus est représenté par un ensemble de 16 ou 46 sources ponctuelles, dont la direction a été choisie pour obtenir une représentation optimale de la voûte céleste (Turtle sky, *den Dulk, 1989*). Le rayonnement direct est représenté par une seule source, ayant la direction du soleil.

La réponse photosynthétique à l'éclairement n'étant pas linéaire, calculer un éclairement moyen du feuillage et lui appliquer la réponse photosynthétique foliaire aboutit à une sous-estimation systématique de l'acquisition de carbone par la plante. D'autre part, il est à noter que la plupart des plantes présentent une grande variabilité de leurs réponses photosynthétiques (e.g., *Le Roux et al. 1999*). Il est donc nécessaire de calculer la réponse photosynthétique feuille à feuille, puis de sommer les réponses individuelles à l'échelle de la plante ou du couvert.

Dans VegeSTAR3, l'éclairement intégré sur l'ensemble des directions du ciel est calculé à l'échelle de chaque élément composant la plante – feuille ou portion de feuille-. Pour pouvoir repérer chaque élément, de fausses couleurs sont attribuées de façon automatique par le logiciel.

Dans une première étape, la fraction de rayonnement diffus reçue par chaque élément est calculée par analyse d'image dans les 16 ou 46 directions représentant la voûte céleste – Cf . Interception de la lumière. Dans une seconde étape, l'éclairement direct de chaque feuille est calculé par analyse d'une image de la plante dans la direction du soleil. Enfin, l'assimilation carbonée de la feuille est calculée à partir de sa réponse photosynthétique à l'éclairement.

Deux modèles de photosynthèse ont été implémentés dans le logiciel VegeSTAR3 :

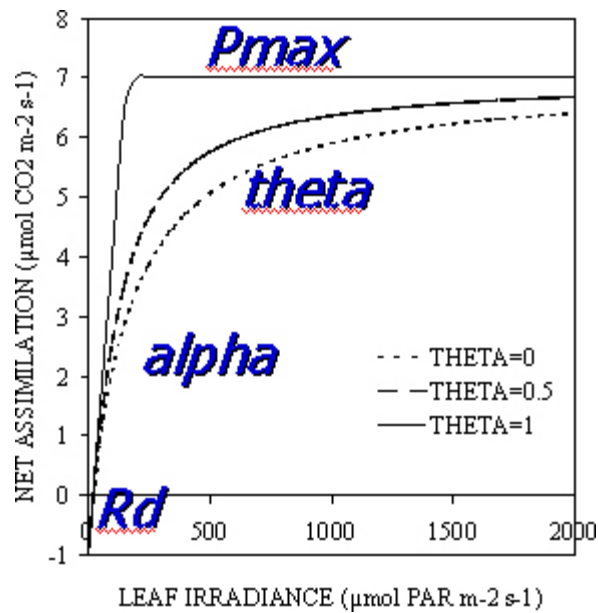
- Le modèle hyperbole non-rectangulaire.
- Le modèle biochimique de Farquhar (*Farquhar et al. 1980*).

A noter que, dans VegeSTAR3, chaque élément foliaire peut avoir ses propres propriétés d'assimilation photosynthétique.

I-3-2. Modèle hyperbole non rectangulaire

Il s'agit d'un modèle empirique à 4 paramètres (*Prioul and Chartier, 1977*) :

- P_{max} ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$): taux de photosynthèse maximal, i.e. à éclairement saturant, c'est à dire le plateau de photosynthèse.
- α ($\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol PAR}^{-1}$): rendement quantique apparent, c'est-à-dire la pente initiale de la réponse à l'éclairement.
- θ (sans unité, variant entre 0 et 1): courbure de la réponse, à savoir que plus la valeur est élevée, plus le plateau de photosynthèse est atteint rapidement.
- R_d ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$): taux de respiration à l'obscurité, c'est-à-dire l'abscisse à l'origine de la courbe d'assimilation en fonction de l'éclairement. A noter que, par convention, R_d est positif.



I-3-3. Modèle de Farquhar

Le modèle de Farquhar est un modèle qui représente les principales étapes de la biochimie de la photosynthèse, à savoir la carboxylation de la Rubisco et la régénération de la Rubisco par le transfert d'électrons (Farquhar et al., 1980). Les paramètres d'entrée du modèle sont :

- V_{cmax} (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹) : la vitesse maximale de carboxylation à la température de 25°C
- J_{max} (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹) : la vitesse maximale du transfert d'électrons à 25°C
- R_d (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹) : le taux de respiration à l'obscurité à 25°C

A noter que ces paramètres sont généralement liés à la teneur surfacique en azote des feuilles, qui peut varier au sein de la plante. Ces paramètres dépendent fortement de la température (Dreyer et al., 2001).

Le modèle de Farquhar fait appel à d'autres paramètres, dont l'évaluation est très délicate. C'est la raison pour laquelle on suppose qu'ils sont constants pour une espèce donnée. D'autre part, ils ont été déterminés pour un nombre d'espèces limités. Ces paramètres concernent :

- le rendement quantique α (μmol CO₂ μmol PAR⁻¹)
- la respiration à l'obscurité : facteur d'échelle (sans unité) et énergie d'activation (J mol⁻¹)
- la capacité de transport des électrons : facteur d'échelle (sans unité), énergie d'activation (J mol⁻¹), énergie de désactivation (J mol⁻¹) et terme d'entropie (J K⁻¹ mol⁻¹)
- la capacité de carboxylation : facteur d'échelle (sans unité), énergie d'activation (J mol⁻¹), énergie de désactivation (J mol⁻¹) et terme d'entropie (J K⁻¹ mol⁻¹)
- les constantes de Michaelis-Menten pour la carboxylation et pour l'oxygénation : facteur d'échelle (sans unité) et énergie d'activation (J mol⁻¹)
- et de façon indirecte, la conductance stomatique, via une relation entre le rapport des concentrations en CO₂ interne et dans l'air ambiant, et l'éclairement de la feuille.

VegeSTAR3 permet de définir ces paramètres. Les paramètres par défaut sont tirés des références suivantes : Harley et al, 1992 ; Le Roux et al., 1999 ; Balandier et al., 2000.

II. Fichiers d'entrée

II-1. Généralités

Les fichiers d'entrées sont de deux types différents : les fichiers "Scène" et les fichiers "Microclimat". Ce sont des fichiers texte (ASCII), dont les données sont séparées par des "Tab" (éventuellement des "Virgule" ou "Espace" ou " ; ").

II-2. Fichiers Scène

L'extension du fichier est '.vgx '.

II-2-1. Entête du fichier

Les fichiers sont organisées sous la forme de colonnes. La première ligne est une série de mots clés correspondants aux entêtes des colonnes. Le fichier comporte ensuite autant de lignes que d'objets décrits dans la scène.

Liste des entêtes possibles :

- Obj : forme de l'objet représentée par un code sous la forme d'un nombre entier,
- EchX, EchY, EchZ : paramètres de mise à l'échelle de l'objet,
- TransX, TransY, TransZ : coordonnées de l'objet dans le repère de la scène,
- RotX, RotY, RotZ : orientation de l'objet (angles d'Euler),
- R, G, B : couleur de l'objet ,
- X1, Y1, Z1, X2, Y2, Z2, X3, Y3, Z3 : coordonnées absolues des sommets des triangles pour le cas d'une scène triangularisée,

Obj	EchX	EchY	EchZ	TransX	TransY	TransZ	RotX	RotY	RotZ	R	G	B
-----	------	------	------	--------	--------	--------	------	------	------	---	---	---

- Mask : Objet visible ou non (0 ou 1),
- Grp1, Grp2 : Colonnes permettant de regrouper les objets afin d'effectuer des intégrations spatiales.

X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	X3	Y3	Z3	Mask	Grp1	Grp2
----	----	----	----	----	----	----	----	----	------	------	------

- Pmax, Alpha, Teta, Resp : paramètres nécessaires au calcul de la photosynthèse en utilisant le modèle hyperbole non rectangulaire,
- VCmax, Jmax, Resp : paramètres nécessaires au calcul de la photosynthèse en utilisant le modèle de Farquhar

Pmax	Alpha	Teta	Resp	VCmax	Jmax
------	-------	------	------	-------	------

Obj	EchX	EchY	EchZ	TransX	TransY	TransZ	RotX	RotY	RotZ	R	G	B	Mask	Grp1
11	1	1	0.1	-2	0	-1	0	0	0	255	0	0	0	1
12	1	1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	255	0	1	1
13	1	1	0.1	2	0	1	0	0	0	0	0	255	1	2

Extrait d'un fichier d'entrée

II-2-2. Description du couvert

II-2-2-1. Scène triangularisée

Code 0



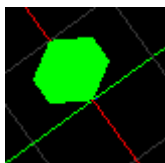
TRIANGLES

Les scènes triangulées sont composées d'une collection de triangles décrits par les coordonnées de leurs sommets. X_1, Y_1, Z_1 ; X_2, Y_2, Z_2 ; X_3, Y_3, Z_3 .

II-2-2-2. Scène décrite à partir de formes géométrique de base

II-2-2-2-1. Surfaces

Code 11



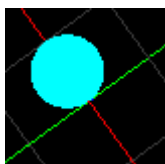
POLYGONES

Code 12

Code 13

Par défaut ces codes génèrent des hexagones de hauteur unitaire. Ceux-ci peuvent être remplacés par des formes de type "Feuille polygone", créées par l'utilisateur (cf § II-2-2-2-4). Trois types de feuilles peuvent être représentées dans la même scène.

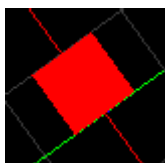
Code 21



DISQUE

Le disque de base est de diamètre unitaire et son centre est placé aux coordonnées 0.5, 0, 0. Il permet de représenter tout type d'ellipse.

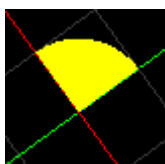
Code 22



CARRE

Le carré de base est de côté unitaire et ses diagonales se croisent aux coordonnées 0.5, 0, 0. Il permet de représenter tout type de rectangle.

Code 23



1/4 de DISQUE

Le quart de disque est de rayon unitaire, placé par défaut dans la partie X+, Y+ du repère, le centre du disque étant placé au point de coordonnées 0,0,0.

Code 24

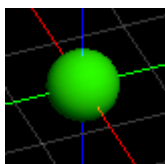


TRIANGLE RECTANGLE

Le triangle rectangle de côté unitaire se situe par défaut dans la partie X+, Y+ du repère. L'angle droit est situé aux coordonnées 0,0,0.

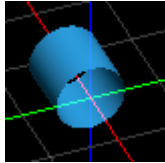
II-2-2-2-2. Volumes

Code 31

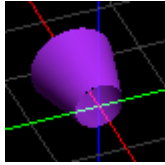


SPHERE

La sphère de base est de diamètre unitaire et les coordonnées de son centre sont: 0, 0, 0. Elle permet de représenter tout type d'ellipsoïde.

Code 32**CYLINDRE**

Le cylindre de base a une hauteur et un diamètre unitaires, le centre de sa base est situé en 0, 0, 0, celui de son sommet est situé en 1, 0, 0.

Code 33**CONE**

Le cône de base a une hauteur unitaire, le centre de sa base est situé en 0, 0, 0, celui de son sommet est situé en 1, 0, 0.

Attention : Dans le cas du cône, les valeurs EchY et EchZ représentent respectivement le diamètre de la base et du sommet du cône (EchX représente sa hauteur).

II-2-2-2-3. Taille et position

La taille des objets est spécifiée dans les colonnes EchX, EchY et EchZ du fichier d'entrée. Dans le cas de feuilles représentées par des objets surfaciques (polygones, ellipses), EchX et EchY sont généralement la longueur et la largeur de la feuille, tandis que EchZ est fixée arbitrairement à 1. Dans le cas d'axes représentés par des troncs de cônes, EchX est la longueur de l'axe tandis que EchY et EchZ sont les diamètres à la base et au sommet de l'axe.

La position des objets dépend des colonnes TransX, TransY, TransZ.

L'orientation des objets est décrite dans les colonnes RotX, RotY et RotZ qui sont les angles d'Euler de l'objet. Dans le cas des feuilles, les angles de rotation peuvent être obtenus lors de la digitalisation 3D (Fastrak, Polhemus) en plaçant le plan du capteur parallèle au limbe avec son axe parallèle à la nervure centrale. Dans ce cas, RotZ correspond à l'azimut de la nervure, RotY est l'angle d'inclinaison de la nervure et RotX est l'angle de roulis du limbe autour de la nervure. Il est à noter que la digitalisation des feuilles est effectuée généralement au point de jonction pétiole-limbe, en appliquant le capteur sur le limbe afin d'en saisir l'orientation. Par conséquent, le capteur est orienté en position opposée de l'orientation réelle de la feuille. Il en résulte que les angles d'Euler A, B et C retournés par le digitaliseur, doivent subir les transformations suivantes pour obtenir les angles RotX, RotY et RotZ.

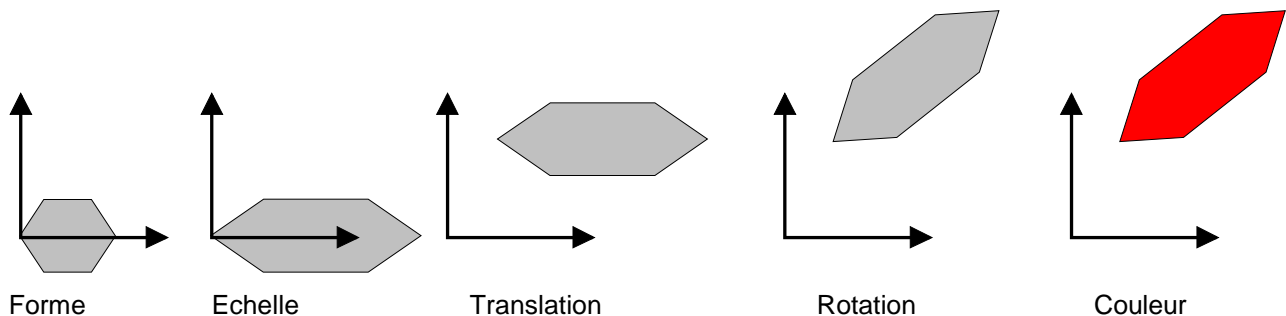
A noter que dans la version 1 de VegeSTAR, ces transformations étaient opérées par défaut. Depuis la version 2 de VegeSTAR, la position initiale des objets surfaciques a été unifiée selon des conventions plus usuelles, et l'opération sur les angles doit donc être effectuée préalablement par l'utilisateur.

Ainsi, pour obtenir un affichage correct de ces feuilles, il faudra opérer les transformations suivantes:

$$\text{RotZ} = \text{angleA} + 180^\circ$$

$$\text{RotY} = \text{angleB} * (-1) \quad \text{où A, B et C sont les angles fournis par le digitaliseur Fastrak (Polhemus)}$$

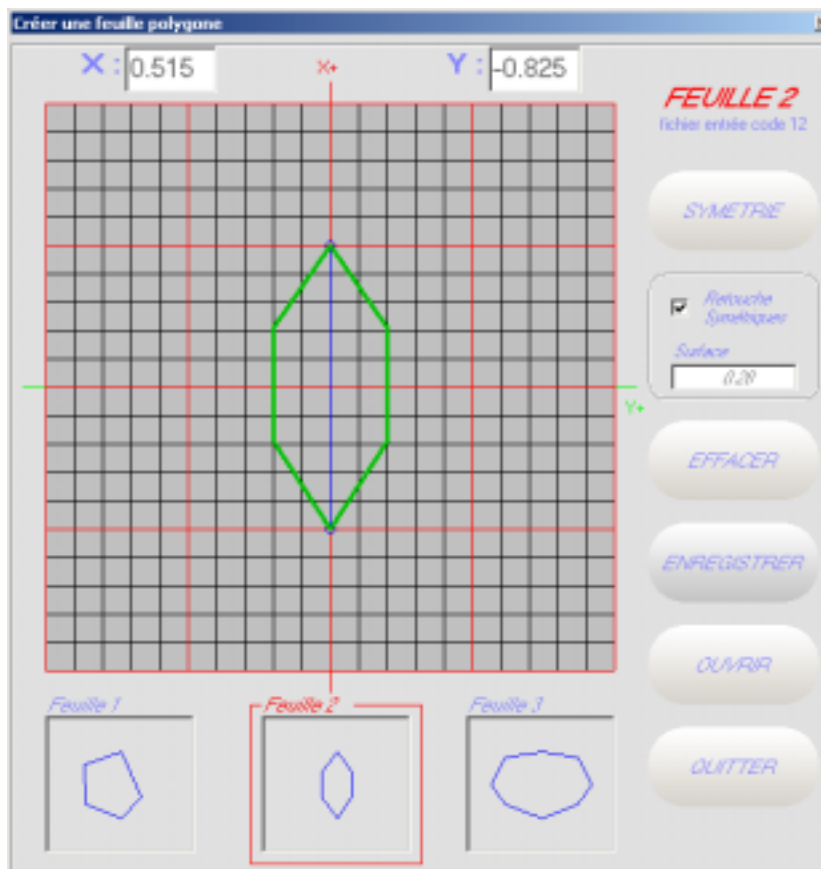
$$\text{RotZ} = \text{angleC} * (-1)$$



II-2-2-2-4. Utilisation d'une feuille Polygone

VegeSTAR3 permet de créer trois types de feuilles polygonales simultanément.

Pour les créer, choisir 'Créer une feuille polygone' dans le menu 'Outils'.



Fenêtre de création des feuilles polygones

Les types de feuilles 1, 2 et 3 de cet éditeur remplaceront respectivement les objets de type 11, 12, 13 de la scène.

La grille présentée permet de dessiner toute forme de polygones. Rappelons que ces polygones de base sont unitaires, c'est-à-dire que la 'nervure centrale' représentée par le trait bleu vertical a une longueur égale à 1. D'autre part, seuls les polygones convexes sont correctement représentés dans la scène. Si la forme souhaitée est symétrique par rapport à la nervure centrale, il suffit d'en dessiner une moitié, puis de cliquer sur le bouton 'SYMETRIE' pour obtenir le polygone entier. Une fois la feuille créée, sa surface est affichée. Cela permet éventuellement de vérifier si la relation allométrique entre dimensions et surface des feuilles est bien vérifiée.

Une fois la feuille entièrement dessinée il est possible de retoucher sa forme en plaçant le pointeur de la souris sur l'un des sommets et d'utiliser le bouton droit pour le repositionner. Par défaut les retouches seront effectuées de façon symétrique.

Les polygones créés peuvent être enregistrés au format ascii avec l'extension '.pol'.

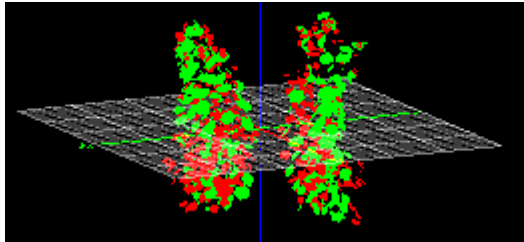
II-2-2-3. Couleurs

VegeSTAR3 utilise les couleurs RGB (Red, Green, Blue), chaque objet peut avoir:

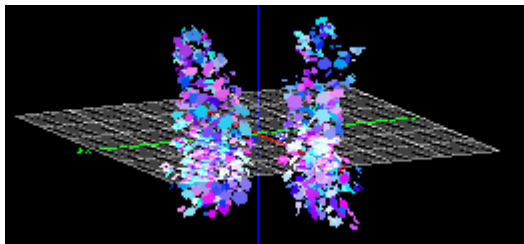
- une composante ROUGE codée de 0 à 255 (colonne R)
- une composante VERTE codée de 0 à 255 (colonne G)
- une composante BLEUE codée de 0 à 255 (colonne B)

Attention :

- Utilisation du fichier pour le calcul du STAR :



- si aucune couleur n'est renseignée, VegeSTAR3 affecte une couleur verte par défaut (R=0, G=255, B=0) à tous les objets de la scène.
- VegeSTAR3 calcule le STAR par analyse d'image en RGB, en effectuant un histogramme des nombres de pixels pour chaque bande indépendantes. Chaque bande R, G, B peut donc être utilisée pour coder de l'information sur l'objet : par exemple, R peut coder l'âge des feuilles, G l'ordre de ramification, B la hauteur au-dessus du sol. Ce codage est cependant limité aux 255 niveaux de couleur (entre 1 et 255, si on réserve 0 pour le fond) de chacune des bandes. Enfin, il ne faut pas coder l'information en utilisant l'ensemble des combinaisons possibles de couleurs (soit $(255)^3 = 16$ millions de couleurs), car les histogrammes sont calculés sur chaque bande indépendante. L'analyse STAR de VegeSTAR3 permet donc d'identifier dans la scène (3×255) types d'objets plutôt que $(255)^3$.
- Utilisation du fichier pour le calcul de la photosynthèse :



Dans ce cas, VegeSTAR3 affecte automatiquement les couleurs aux objets de la scène et les colonnes R, G et B sont donc inutiles.

II-2-2-4. Masque

VegeSTAR3 permet d'ajouter à la scène des objets "noirs". Les calculs de STAR et de photosynthèse ne sont pas effectués pour ces objets qui interviennent uniquement pour ombrager les objets. Si la valeur de "Mask" est à 1, l'objet est masqué, si la valeur est à 0, il fait partie de la végétation étudiée.

II-2-2-5. Groupe

VegeSTAR3 permet, dans le cas d'un calcul de photosynthèse, d'effectuer des groupements d'objets afin de faciliter le traitement des données en sortie pour une intégration spatiale des résultats. Pour cela, deux colonnes peuvent être ajoutées avec comme mots clés "Grp1" et "Grp2". A chaque objet de la scène correspond un entier strictement positif correspondant à un ensemble d'objets (ces différents ensembles sont numérotés de 1 à n). Ainsi, les résultats pourront être intégrés selon ces ensembles d'objets et non plus objet par objet. Il est à noter qu'un même objet peut appartenir à deux ensembles différents, ceci en utilisant les deux colonnes disponibles, Grp1 et Grp2.

II-2-3. Analyse du fichier scène

VegeSTAR3 possède un analyseur lexical et propose, après analyse du fichier quels sont les calculs possibles. La fenêtre ci-dessous possède des cases indiquant les données disponibles dans le fichier, et la couleur des boutons indique le type d'analyse envisageable (STAR, Hyperbole, Farquhar).

Fenêtre de choix de l'analyse

II-3. Fichier séquences microclimatiques

II-3-1. Description du fichier

L'extension du fichier est '.seq '.

Les fichiers sont organisés sous la forme de colonnes. La première ligne est une série de mots clés correspondants aux entêtes des colonnes. Le fichier comporte ensuite autant de lignes que de conditions à simuler.

Liste des entêtes possibles :

- Az : azimut (°),
- El : élévation (°),
- Global : PAR global incident ($\mu\text{mol de photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$),
- Diffus : PAR diffus incident ($\mu\text{mol de photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$),
- Temp : température (°C),
- CO2 : pression partielle de CO2 (Pa).

Az	EI	Global	Diffus	Temp	CO2
12.23	9.23	1300	400	25	35
59.77	9.23	1300	400	25	35
84.23	9.23	1300	400	25	35

Extrait d'un fichier de séquence

Pour le calcul du STAR, seules les colonnes Az et EI sont nécessaires.

Pour le calcul de la photosynthèse, pour le modèle hyperbole, les colonnes Az, EI, Global et Diffus sont nécessaires.

Pour le calcul de la photosynthèse, pour le modèle de Farquhar, les 6 colonnes sont nécessaires.

II-3-2. Paramètre des modèles

II-3-2-1. Modèle de Farquhar

Le modèle de Farquhar fait appel à d'autres paramètres, dont l'évaluation est très délicate. C'est la raison pour laquelle on suppose qu'ils sont constants pour une espèce donnée. D'autre part, ils ont été déterminés pour un nombre d'espèces limités. Ces paramètres concernent :

- le rendement quantique α ($\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol PAR}^{-1}$)
- la respiration à l'obscurité : facteur d'échelle (sans unité) et énergie d'activation (J mol^{-1})
- la capacité de transport des électrons : facteur d'échelle (sans unité), énergie d'activation (J mol^{-1}), énergie de désactivation (J mol^{-1}) et terme d'entropie ($\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$)
- la capacité de carboxylation : facteur d'échelle (sans unité), énergie d'activation (J mol^{-1}), énergie de désactivation (J mol^{-1}) et terme d'entropie ($\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$)
- les constantes de Michaelis-Menten pour la carboxylation et pour l'oxygénation : facteur d'échelle (sans unité) et énergie d'activation (J mol^{-1})

et de façon indirecte, la conductance stomatique, via une relation entre le rapport des concentrations en CO_2 interne et dans l'air ambiant, et l'éclairement de la feuille.

VegeSTAR3 permet de définir ces paramètres.

Pour cela, choisir 'Paramètres' dans la barre de menu.

Les paramètres par défaut correspondent au cas du Noyer, tels que décrit par *Le Roux et al. (1999)*.

Fenêtre des paramètres du modèle de Farquhar

III. Fichiers de sortie

III-1. STAR manuel

Le fichier de sortie d'une analyse manuelle contient une première colonne indiquant le niveau de couleur, entre 0 et 255. Il comporte ensuite, une, deux ou trois colonnes supplémentaires (selon le nombre de bandes de couleur présentes dans la scène) contenant la surface d'interception mesurée à chaque niveau de couleur, dans les bandes Rouge, Verte et Bleue.

La première ligne du fichier rappelle les conditions de la mesure: Azimut et Élévation de la visée, taille de l'image et son unité.

A noter que l'unité utilisée pour les surfaces projetées est l'unité de la taille de l'image au carré. On peut noter également que les lignes ne contenant pas d'informations (à savoir les lignes de 0) ne sont pas présentes dans le fichier de sortie.

	AZIMUT -116 °	ELEVATION 78 °	TAILLE 59.29dm
	ROUGE	VERT	BLEU
0	3397.698294	3398.890995	3397.69829
1	1.386860916	0	0
2	0	1.719707535	0
4	0.887590986	0	0

Extrait d'un fichier de sortie STAR manuel

III-2. STAR automatique

Le fichier de sortie d'une analyse automatique du STAR contient C*N+1 colonnes, si N est le nombre de positions dans le fichier 'Séquence' et C le nombre de bandes de couleurs utilisées (1, 2 ou 3).

La première colonne contient le niveau de couleur, entre 0 et 255.

Les colonnes suivantes contiennent la surface d'interception mesurée à chaque niveau de couleur, dans les bandes Rouge, Verte et Bleue présentes.

La première ligne rappelle le nom du fichier 'Scène' utilisé pour le calcul.

Les 3 lignes suivantes rappellent les conditions de la mesure: Azimut et élévation de la visée, taille de l'image et son unité.

A noter que l'unité utilisée pour les surfaces projetées est l'unité de la taille de l'image au carré.

De la même façon que pour le calcul de STAR manuel, les lignes ne contenant que des '0' ne sont pas représentées.

Attention : Les fichiers Excell n'autorisent que 256 colonnes, soit un nombre de position $N \leq 85$ si les 3 bandes sont utilisées.

C:\Documents and Settings\donos\Mes documents\3feuilleplate.xls									
	AZ=12.23°			AZ=69.77°			AZ=84.23°		
	EL=9.230003°			EL=9.230003°			EL=9.230003°		
	T=53.61cm			T=53.61cm			T=53.61cm		
	ROUGE	VERT	BLEU	ROUGE	VERT	BLEU	ROUGE	VERT	BLEU
0	2873.896	2873.851	2873.873	2873.873	2873.851	2873.873	2873.896	2873.851	2873.896
255	0.1360639	0.1814185	0.1587412	0.1587412	0.1814185	0.1587412	0.1360639	0.1814185	0.1360639

Extrait d'un fichier de sortie STAR automatique

III-3. Photosynthèse

Après calcul de la séquence, VegeSTAR3 propose plusieurs formatages pour le fichier de sortie. La fenêtre suivante propose des choix différents d'intégration.



Fenêtre de formatage des sorties

III-3-1. Aucune d'intégration

Si aucun choix d'intégration n'est fait, le fichier de sortie contient l'ensemble de l'information spatiale et temporelle, soit 2N+3 colonnes, si N est le nombre de positions dans le fichier de séquence.

La première colonne contient le numéro de l'élément foliaire de la scène. Il y a donc une ligne pour chaque élément de feuillage constituant la scène, et autant de lignes qu'il y a d'éléments dans la scène.

La deuxième colonne indique la surface foliaire de l'élément.

La troisième colonne donne la proportion de rayonnement diffus intercepté par l'élément.

Les N colonnes suivantes indiquent l'éclairement reçu par l'élément, en $\mu\text{mol PAR m}^{-2}$ surface foliaire s^{-1} .

Enfin, les N dernières colonnes contiennent le taux d'assimilation nette de l'élément, en $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}$ surface foliaire s^{-1} .

La première ligne rappelle le nom du fichier 'Scène photosynthèse' utilisé pour l'analyse, et la taille de l'image et l'unité métrique utilisée.

La deuxième ligne donne les intitulés de colonne.

C:\VGS\1C:\Mes document:		TAILLE: 53.61 cm		
Objet	SURFACE en cm^2	Diffus	Global AZ. 12.23 EL. 9.23	Phot. AZ. 12.23 EL. 9.23
1	0.323462307	0.596701972	2396.373518	11.89332544
2	0.181971252	0.523768218	2126.550099	11.86267948
3	0.223060936	0.410491168	2740.543868	11.92322806

Extrait d'un fichier de sortie photosynthèse

III-3-2. Intégration spatiale

L'intégration spatiale permet de grouper les objets en intégrant leurs résultats, ceci sur l'ensemble de la scène ou suivant les groupes prédéfinis dans le fichiers d'entrées (Grp1, Grp2).

III-3-3. Intégration temporelle

L'intégration temporelle permet d'intégrer les résultats sur l'ensemble des pas de temps du fichier séquence utilisé. Les valeurs calculées sont des valeurs moyennes exprimées en $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

IV. Manuel d'utilisation

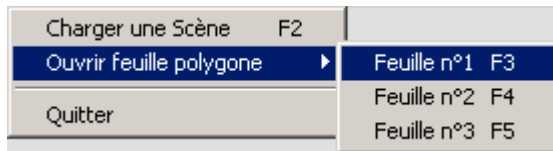
IV-1. Configuration matérielle

- Windows 9x, NTx, 2000, XP.
- 1024 x 768 pixels.
- 16 millions de couleurs.

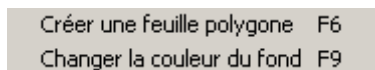
IV-2. Page principale

IV-2.1 Menu

Menu Fichier : Permet de charger une scène, d'ouvrir une ou plusieurs feuilles polygone et de quitter l'application.



Menu Outils : Permet d'ouvrir l'éditeur de feuilles polygones et de changer la couleur du fond.



Menu Paramètres modèles : permet d'accéder à la fenêtre de réglage des paramètres du modèle de Farquhar.

Menu ? : aide de VegeSTAR3.

IV-2-2. Barre d'outils



Les trois premières icônes permettent respectivement de charger une scène, d'ouvrir un fichier "feuille polygone" et d'accéder à l'éditeur de feuilles.

La première case à cocher permet de préciser le type d'affichage lorsque la scène est en mouvement.

La seconde permet de centrer la scène dans le repère du visualisateur (centrage actif par défaut)

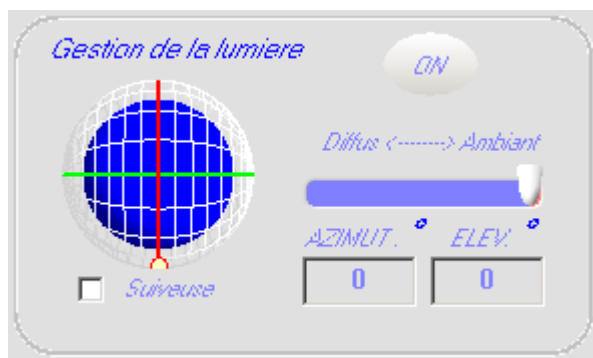
Le menu déroulant permet de choisir entre les modes de représentation suivant : plein, silhouette, trait point.

Le dernier bouton place VegeSTAR3 en configuration de visualisateur 3D de grande taille.

Dans cette configuration VegeSTAR3 donne la possibilité de gérer la lumière ainsi que les propriétés radiatives des objets (ambiant – diffus)

La scène peut être ou non éclairée (bouton on/off). Dans le cas où la scène est éclairée, la source de lumière peut être indépendante ou liée à la direction de visée (cocher la case 'suiveuse').

Attention: La lumière ne donne un effet que dans le cas où la composante diffuse est non nulle.



Fenêtre de gestion de la lumière

IV-2-3. Boutons

Boutons de visualisation



GRILLE : VegeSTAR3 représente une scène, dans un repère matérialisé par une grille, celle-ci peut être visible ou non.

CAMERA (ORTHO ou STANDARD): VegeSTAR3 représente par défaut une scène vue avec une caméra orthographique, c'est-à-dire avec une perspective cavalière où les rayons issus de la caméra sont parallèles. Cette caméra doit être OBLIGATOIREMENT utilisée pour créer des images qui serviront à évaluer les propriétés d'interception, car ces dernières sont généralement directionnelles

ANIMATION : Ces boutons permettent d'animer la scène en rotation horizontale ou verticale.

Boutons d'analyse



COPIE IMAGE : Ce bouton permet de copier la vue courante de la scène dans la fenêtre d'analyse.

HISTO : Ce bouton permet d'afficher et de sauvegarder l'histogramme de l'image d'analyse.

SEQUENCE : Ce bouton permet de choisir un fichier de séquence microclimatique.

SAUVER : Ce bouton permet d'enregistrer l'image de la fenêtre d'analyse au format bitmap.

IV-2-4. Visualisation 3D

WISEE :

Plusieurs possibilités permettent de régler la direction de visée. On peut :

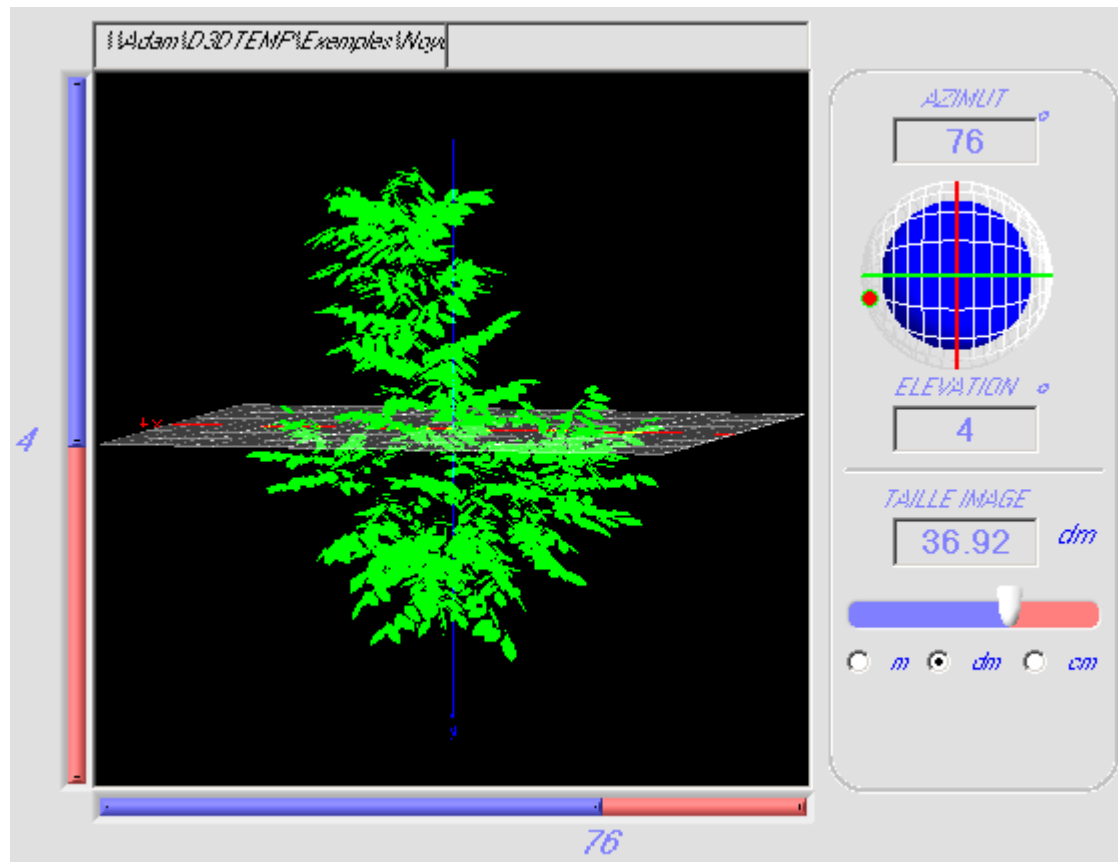
- utiliser les zones de texte 'AZIMUT' et 'ELEVATION',
- faire pivoter la scène à l'aide du bouton gauche de la souris,
- déplacer le curseur sur la mire sphérique,
- utiliser les curseurs placés à gauche et en bas de la fenêtre 3D.

TAILLE DE L'IMAGE :

Le curseur de zoom permet de régler la taille de la scène (la fenêtre 'scène' est carrée). On peut aussi entrer manuellement la hauteur de l'image souhaitée dans la zone de texte TAILLE IMAGE, et choisir l'unité de mesure : cm, dm ou m. Par défaut, les données métriques sont supposées être des centimètres, c'est-à-dire l'unité utilisée par un digitaliseur Fastrak (Polhemus).

TRANSLATION DU REPERE :

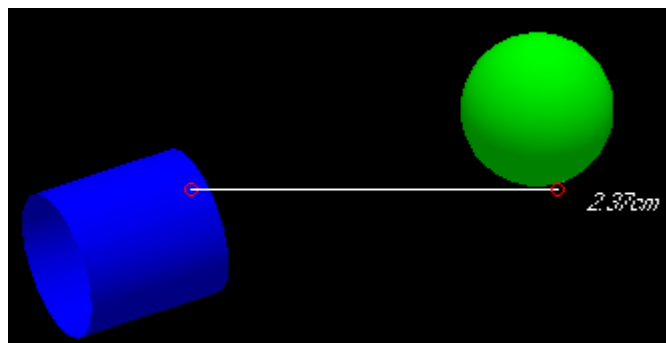
Le bouton droit de la souris permet de déplacer la scène dans la fenêtre de visualisation.



Région de visualisation

IV-2-5. Fenêtre d'analyse

VegeSTAR3 permet de réaliser des mesures de distance sur l'image d'analyse. Pour cela il suffit de cliquer en un point de l'image et de déplacer la souris en maintenant le bouton gauche enfoncé. Pour effacer la mesure Cliquez sur le bouton droit.



VegeSTAR3 permet également de sauvegarder l'image au format Bitmap en utilisant le bouton "SAUVER".

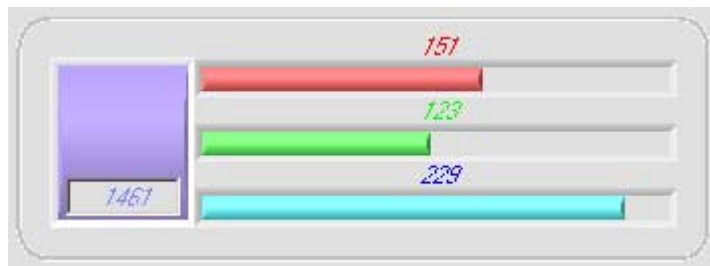
IV-2-6. Surface foliaire

Cette zone affiche la surface foliaire de la plante entière.



Niveau RGB

Cette zone permet de connaître les composante rouge – vert – bleu de chaque pixel de la fenêtre d'analyse, ainsi que le numéro de l'objet géométrique pointé dans le cas d'une scène "photosynthèse".



IV-2-7. Exécution

Après ouverture d'une scène et d'un fichier séquence, cette zone permet de démarrer l'analyse. Dans le cas d'une analyse photosynthèse, l'utilisateur doit choisir une discrétisation du ciel (turtle 16 ou 46) ainsi qu'une loi de répartition directionnelle du rayonnement diffus: SOC (Standard Overcast sky, par défaut) ou UOC (Uniform Standard sky).

Une jauge indique la progression de l'analyse en cours.



Remarques importantes:

Il est recommandé de ne pas effectuer d'autres tâches sur l'ordinateur pendant le calcul, pour éviter de "planter" l'application.

Il est aussi recommandé de vérifier que toute la scène est visible sur l'image, quelle que soit la direction de visée. A noter que si des éléments ne sont visibles, ie qu'ils débordent du cadre, leur contribution à l'interception de la lumière ne sera pas prise en compte, et le calcul sera faux.

Bibliographie

BALANDIER P, LACOINTE A, LE ROUX X, SINOQUET H, CRUIZIAT P, LE DIZES S, (2000)
SIMWAL: a structural-functional model simulating single walnut tree growth in response to climate and pruning.
Annals of Forest Science 57: 5/6, 571-585

DREYER E, LE ROUX X, MONTPIED P, DAUDET F A, MASSON F A, (2001)
Temperature response of leaf photosynthetic capacity in seedlings from seven temperate tree species.
Tree Physiology 21: 4, 223-232

DEN DULK JA. (1989)
The interpretation of remote sensing, a feasibility study.
PhD Thesis, Wageningen

FARQUHAR GD., VON CAEMMERER S., BERRY JA. (1980),
A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species,
Planta 149, 78-90

HARLEY PC., THOMAS RB., REYNOLDS JF. and STRAIN BR. (1992)
Modelling photosynthesis of cotton grown in elevated CO₂.
Plant Cell Environment 15 :, 271-282

PRIOUL JL and CHARTIER P., (1977)
Partitioning of transfer and carboxylation components of intracellular resistance to photosynthetic CO₂ fixation : A critical analysis of the methods used.
Annals of botany 41, 789-800

LE ROUX X, GRAND S, DREYER E, DAUDET F A, (1999)
Parameterization and testing of a biochemically based photosynthesis model for walnut (*Juglans regia*) trees and seedlings.
Tree Physiology 19: 8, 481-492

SINOQUET H, THANISAWAYANGKURA S, MABROUK H, KASEMSAP P, (1998)
Characterization of the light environment in canopies using 3D digitising and image processing.
Annals of Botany 82: 2, 203-212

STENBERG P. (1995)
Penumbra in within-shoot and between-shoot shading in conifers and its significance for photosynthesis.
Ecological modelling 77, 215-231