HAL
open science

# Développement de la ronce (Rubus fruticosus) en fonction de la disponibilité en lumière dans le sous-bois forestier

Morgane Gillard

## To cite this version:

Morgane Gillard. Développement de la ronce (Rubus fruticosus) en fonction de la disponibilité en lumière dans le sous-bois forestier. [Stage] Institut Universitaire de Technologie de Brest (IUT de Brest), FRA. 2010, 33 p. hal-02820885

**HAL Id: hal-02820885**

**https://hal.inrae.fr/hal-02820885**

Submitted on 6 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

- RAPPORT DE STAGE -

# Développement de la ronce (*Rubus fruticosus*) en fonction de la disponibilité en lumière dans le sous-bois forestier.

**Photo 1**- Ronce, *Rubus fruticosus*

Morgane GILLARD - 2ème année IUT Génie Biologique option Génie de l'Environnement

Maître de stage : Philippe BALANDIER (Cemagref)

Établissement d'accueil : INRA de Clermont-Ferrand-Theix, site de Crouël, UMR PIAF

Tuteur IUT : H. CORRE

19 avril – 25 juin 2010

# REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier M. Philippe Balandier, mon maître de stage, pour sa disponibilité, son écoute et ses conseils.

Un grand merci également à M. André Marquier pour les sorties terrain notamment, où une bonne ambiance régnait même si le temps n'était pas toujours de la partie.

Je suis reconnaissante à Messieurs Eric Massardier de l'ONF, Pascal Farge du CRPF, ainsi que François Raymond d'Unisylva, pour l'aide qu'ils nous ont apportée pour trouver des parcelles utiles à l'étude.

Je remercie également les différents propriétaires des parcelles pour leur coopération.

Je voudrais enfin remercier l'ensemble de l'équipe du PIAF pour l'ambiance sympathique tout au long de ce stage.

# AVANT-PROPOS

## Présentation de l'établissement d'accueil

### L'INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

Cet institut a été crée en 1946, dans un contexte de reconstruction d'après guerre, et dans le cadre du projet de modernisation de l'agriculture française. Depuis, l'Inra a accompagné les mutations du monde agricole, des filières alimentaires et des territoires.

Désormais, l'INRA mène des recherches dans le but d'établir une alimentation saine et de qualité, à l'aide d'une agriculture compétitive et durable, tout en préservant et valorisant l'environnement. Pour cela, il est implanté dans 21 centres, répartis sur l'ensemble du territoire français.

L'institut s'inscrit au cœur de la recherche agronomique, que ce soit à l'échelle locale ou à l'échelle planétaire. En effet, il s'agit du premier institut de recherche agronomique en Europe, et du deuxième dans le monde.

### Le centre de recherches de Clermont-Ferrand-Theix

La majorité des équipes du Centre Inra de Clermont-Ferrand - Theix est située en région Auvergne, au cœur du Massif Central. Elles sont implantées sur plusieurs sites dont les deux principaux sont le site de Crouël, à la périphérie Est de Clermont-Ferrand, et celui de Theix à environ 15 km à l'Ouest de Clermont-Ferrand. Il y a également des équipes hors Auvergne, situées à Limoges, à Lyon et en banlieue lyonnaise.

Trois unités sont implantées sur le site de Crouël :

- l'Unité de Recherche Ecosystème prairial
- l'Unité Mixte de Recherche Génétique, diversité et écophysiologie des céréales (GDEC)
- l'UMR Physiologie intégrée de l'arbre fruitier et forestier (PIAF)

## L'UMR PIAF (INRA-Université Blaise Pascal)

Cette Unité Mixte de Recherche travaille sur la Physiologie Intégrée de l'Arbre Fruitier et Forestier. Il s'agit d'étudier les réponses des arbres aux facteurs abiotiques. Pour cela, les aspects architecturaux (acquisition de la forme) et fonctionnels sont pris en compte, sur l'ensemble du cycle annuel des arbres étudiés. Les échelles s'étendent de la molécule à l'organisme entier, en passant par la cellule et l'organe. Certaines études s'intéressent à l'écosystème dans son ensemble.

La filière forestière a une forte présence en Auvergne, et c'est une région où le climat évolue rapidement, avec les différences d'altitude, d'où le positionnement de cette unité de recherche. Les alentours sont idéaux pour étudier l'arbre forestier de moyenne montagne. Les autres objets d'étude sont le peuplier, l'hévéa (en collaboration avec Michelin), le pommier, le noyer, ainsi que l'arbre urbain.

Actuellement, l'unité est composée de quatre équipes :

- BioDHiv (Biologie Hivernale Des ligneux)
- HYDRO (Hydraulique et résistance à la sécheresse des arbres)
- MECA (Contraintes MECAniques et activité des zones en croissance)
- AMi (Architecture et Microclimat), présentée ci-après

## L'équipe AMi (Architecture et Microclimat)

La présence d'arbres implique des modifications de la distribution de la lumière, du vent, ainsi que de la température et de l'humidité de l'air. Ces facteurs doivent donc être étudiés, en vue d'être maîtrisés. Cela permettrait d'améliorer les productions arboricoles ou forestières, en apportant aux arbres les conditions optimales à leur développement.

Ainsi, l'équipe AMi étudie le lien entre la structure de la végétation en termes de distribution spatiale des individus ou des organes, et le microclimat. Ce lien est abordé expérimentalement par des mesures in situ et via des approches de modélisation des processus physiques.

# SOMMAIRE

**INTRODUCTION** ……..……..1

**1- MATÉRIEL ET MÉTHODES** ……...4

1.1- Caractéristiques des sites étudiés

1.2- Protocole

1.2.1- Mesures de lumière

1.2.2- Caractérisation de la végétation des sous-bois

1.3- Analyse des données

**2- RÉSULTATS** ……..12

2.1- Relation de la ronce avec l'éclairement

2.1.1- LAI en fonction du pourcentage de lumière transmise

2.1.2- Seuil de développement de la ronce

2.1.3- Liens avec les taux de recouvrement

2.1.4- Hauteur moyenne de la ronce en fonction du transmis

2.2- Végétation accompagnatrice de la ronce

2.2.1- Richesse spécifique

2.2.2- Nombre de semis en fonction du LAI de la ronce

2.3- Autres résultats

**3- DISCUSSION** ……18

3.1- Développement de *Rubus fruticosus* en fonction de l'éclairement

3.2- Conséquences en terme de gestion

**CONCLUSION** ……..……21

**BIBLIOGRAPHIE** ……22

**ANNEXES** ……..24

Annexe 1- Carte de situation des sites

Annexe 2- Informations relatives à la ronce

Annexe 3- Caractéristiques des transects

Annexe 4- Capteur SOLEMS PAR/CBE 80

Annexe 5- Mise au point de la méthode de mesure de surface foliaire par lâcher d'aiguilles

# Résumé

En forêt, les espèces végétales très colonisatrices telles que la ronce (*Rubus fruticosus*) peuvent compromettre la régénération des arbres. Elles prolifèrent en particulier quand la lumière augmente et colonisent donc préférentiellement les trouées. Ces trouées sont aussi le lieu de développement des jeunes arbres au sein d'un peuplement adulte. Il y a alors compétition entre les semis d'arbre et la végétation colonisatrice pour la captation des ressources, notamment de la lumière.

Le but de cette étude était de quantifier le développement de la ronce en fonction de l'intensité lumineuse dans les trouées.

Nous avons donc étudié le couvert en ronce et mesuré la lumière à l'interface trouée-peuplement sur 32 transects. Nous avons ainsi obtenu la surface foliaire en ronce par m², ainsi que le pourcentage de lumière transmis au niveau des 215 points de mesure.

La ronce se développe fortement pour de très faibles intensités en lumière (< 10%) puis augmente peu au-delà de ce seuil. Lorsqu'elle est développée, la ronce nuit à la biodiversité, et peut compromettre la régénération des arbres, surtout au-delà d'un LAI de 2. A partir de ces résultats, des itinéraires de gestion sont proposés, limitant le développement de la ronce pour assurer le renouvellement de la forêt et la biodiversité ou au contraire favorisant son développement à des fins cynégétiques.



**Mots clés :** *Rubus fruticosus*, disponibilité en lumière, trouées, forêt, régénération

# Abstract

Tree regeneration can be jeopardized by colonizing species such as bramble (*Rubus fruticosus*) in forest. Tree seedlings develop preferentially in gaps, where they are in competition with colonizing species for environmental resources, especially light.

The study aimed at quantifying the development of bramble relatively to light availability.

We studied the bramble's cover and measured the light availability at the interface gap-stand, on 32 transects. We obtained bramble leaf area per m², and the percentage of light transmitted at 215 measuring points.

Bramble develops at very low light intensities (< 10%) and increases slowly beyond this threshold. When developed bramble decreases biodiversity and can compromise tree regeneration, in particular for LAI greater than 2. Silvicultural operations are proposed from these results, to decrease bramble cover to ensure forest regeneration or biodiversity or at the opposite to promote its development relatively to hunting.



**Keywords :** *Rubus fruticosus*, light availability, gaps, forest, regeneration

# INTRODUCTION

La forêt est un écosystème dont la pérennité est assurée par la régénération des arbres. Le renouvellement naturel d'un peuplement forestier s'effectue grâce à des trouées formées dans la canopée lors de tempêtes par exemple, ou par mort naturelle d'arbres en général. Lorsqu'elles sont assez grandes, la lumière atteint le sol en quantité suffisante pour permettre le développement des jeunes arbres.

Dans le cas des exploitations forestières pour le bois, récemment encore, les peuplements arrivés à maturité étaient entièrement coupés, puis replantés à partir de plants d'arbres issus de pépinière. On essaye désormais d'employer des méthodes plus naturelles et moins brutales pour favoriser la régénération. On cherche donc à créer des trouées artificielles par coupes partielles dans le peuplement, afin de fournir assez de lumière aux jeunes semis d'arbres.

Ces éclaircies forestières ont des conséquences écologiques variées, dont la modification du microclimat, surtout en ce qui concerne l'eau, la température et la lumière [3]. Or la lumière est un des principaux facteurs contrôlant les processus biologiques et écologiques dans les forêts [2]. La disponibilité en eau du sol, les nutriments et la température sont également des facteurs importants, mais tous sont liés à la lumière d'une manière ou d'une autre [2]. (Figure 1)

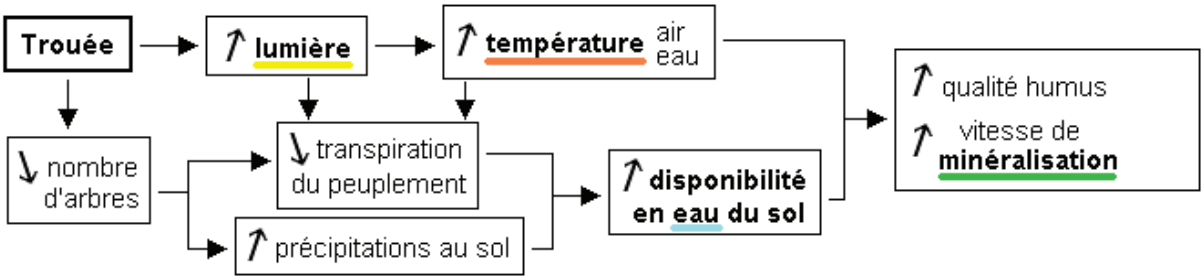



***Figure 1**- Effets de l'augmentation de la lumière en trouée sur le microclimat forestier. [2, 3]*

Aux faibles éclairements, une augmentation de la lumière permet d'abord d'augmenter le nombre d'espèces, mais au-dessus d'une certaine valeur, le nombre d'espèces végétales diminue, car le milieu est rapidement et fortement envahit par un nombre limité d'espèces [3], favorisées par les nouvelles conditions climatiques locales. Ces espèces colonisatrices entrent alors en compétition avec les jeunes arbres.

Or la compétition est le principal phénomène qui peut compromettre le renouvellement de la forêt. En effet, certaines plantes colonisatrices exploitent intensivement toute nouvelle ressource disponible, ce qui leur permet de se développer rapidement [1]. Les jeunes arbres quant à eux n'ont plus accès à cette ressource, ce qui ralentit et limite leur croissance.

Les semis d'arbres sont également en compétition avec les arbres adultes, étant donné que ces derniers interceptent une partie de la lumière. Toutefois, si l'effet négatif d'ombrage exercé par les arbres adultes est inférieur à l'effet positif qu'ils produisent en réduisant le développement de la végétation colonisatrice, le développement des semis peut en être facilité.
Ainsi la disponibilité en lumière dans une trouée est un des facteurs qui conditionne l'établissement et la croissance d'un semis d'arbre [2].

Certaines espèces colonisatrices, comme la ronce (*Rubus fruticosus*), sont très compétitrices vis-à-vis de la lumière. Elles présentent un couvert dense lorsqu'elles sont bien développées, et interceptent alors une part importante de la lumière incidente, puis colonisent rapidement l'espace disponible. La lumière n'atteint plus les espèces les plus fragiles, telles que les jeunes plants d'arbres, dont la croissance devient limitée.

Nous nous intéresserons particulièrement à la ronce car c'est une espèce semi-ligneuse très fréquente dans les forêts tempérées, qui peut poser problème en termes de gestion forestière de par sa forte compétitivité.

Jusqu'à une époque récente, on cherchait à éradiquer totalement la flore du sous-bois, puisque les forêts étaient gérées uniquement dans un but de production de bois [2]. Toutefois, de nouveaux objectifs sont apparus, tels que la protection de la biodiversité, ou l'aménagement de forêts de loisirs (une demande d'un public citadin le plus souvent) ou à l'inverse de forêts adaptées à la faune forestière (chasse), et demandent donc le maintien d'une certaine flore dans le sous-bois [3].

De plus il s'est avéré que cette flore colonisatrice, quand elle n'est pas trop développée, peut tout de même être bénéfique pour la croissance de jeunes plants d'arbre. Par exemple, la ronce inhibe la croissance des graminées [10]. Or ces dernières sont très compétitives pour l'eau, et suppriment la croissance des jeunes arbres, tandis que *Rubus fruticosus* ne fait que la réduire.

Les ronciers peuvent donc devenir des alliés du sylviculteur, de par leur compétition moins forte que celle des graminées [9].
En outre, la ronce est la principale source alimentaire des cervidés, qui se nourrissent des jeunes plants d'arbres en son absence [5, 9]. Cette espèce peut également avoir un rôle de protection contre l'érosion dans les régions au relief accidenté [9].
Les effets de la présence de *Rubus fruticosus* ne sont donc pas seulement néfastes, ils peuvent également être positifs pour diverses raisons, et dans certaines mesures. C'est pourquoi on cherche désormais à maîtriser la croissance de cette espèce sans pour autant l'éradiquer.

On peut se poser la question de l'influence du sol sur le développement de la ronce, mais il semblerait que ce ne soit pas un facteur primordial [9], c'est pourquoi nous étudierons plutôt l'impact de la quantité de lumière.
On suppose que la ronce ne se développe qu'au-dessus d'un certain seuil de lumière, et qu'après avoir dépassé ce seuil, son développement est très rapide. La loi de réponse du développement des ronciers à la lumière serait donc proche d'une loi logarithmique. De plus, nous pensons qu'il y a une différence de développement de la ronce sous feuillus et sous résineux à lumière égale, due aux variations saisonnières du feuillage des arbres. C'est ce que nous voulons vérifier par cette étude.
Puisque le développement des ronciers est limité par la disponibilité en lumière, c'est ce facteur qui doit être maîtrisé pour pouvoir gérer leur développement et leur répartition au sein des peuplements forestiers. Ainsi cette étude a également pour objectif de déterminer les seuils de lumière pour lesquels *Rubus fruticosus* réduit de façon significative le nombre d'espèces végétales ou la régénération des arbres.

# MATÉRIEL ET MÉTHODES

## 1.1- Caractéristiques des sites étudiés

### 1.1.1- Localisation, climat et choix des sites

L'étude s'est déroulée dans le Massif Central, en Auvergne, à proximité de la chaîne des Puys, des Monts du Forez et des Monts Dore, ainsi que dans des forêts de l'Allier. Les massifs sont formés essentiellement de moyennes montagnes d'origine volcanique, et dans l'Allier, il s'agit surtout de plaines. Cette région est caractérisée par un climat montagnard : il y a 1000 mm de précipitations à l'année en moyenne sur la région, mais avec de fortes disparités liées au relief, et la température annuelle moyenne est de 7°C à une altitude de 900 m [7].

Un repérage du terrain a été effectué fin avril afin de trouver des sites adaptés aux mesures que l'on souhaitait faire. Les principaux sites retenus se trouvent dans : la forêt sectionale de Mareuge, le bois de Fontsalive, la forêt de la Comté, dans certaines forêt du Forez, et également dans l'Allier, aux alentours de Moulins. (Annexe 1)

Le choix des sites a été fait selon plusieurs critères : la présence de l'espèce d'intérêt, *Rubus fruticosus* (Annexe 2) en couvert progressif; un gradient de lumière; l'accessibilité du site, tout en évitant qu'il soit trop proche d'un passage fréquenté.
Nous avons travaillé sous des peuplements homogènes de feuillus et de résineux. Les peuplements retenus étaient composés de Douglas (*Pseudotsuga menziesii*), d'épicéas (*Picea abies*), de sapins (*Abies alba*), ou encore de feuillus tels que le charme (*Carpinus betulus*), le chêne (*Quercus petraea* ou *Q.robur*), le hêtre (*Fagus sylvatica*).

Certains peuplements présentaient des trouées formées lors de la tempête de 1999, ou des trouées volontaires, en cours de régénération.

### 1.1.2- Sondages pédologiques

Même s'il semblerait que le sol n'a pas une influence primordiale sur la ronce [9], un sondage pédologique a été effectué sur chaque transect, à l'aide d'une tarière. Cela permet de caractériser au mieux les sites et d'anticiper les effets éventuels de la composition du sol sur le développement de la ronce.
Cette analyse rapide a permis de déterminer la profondeur du sol, sa granulométrie, sa texture, ainsi que de possibles traces d'hydromorphie.

## 1.2- Protocole

Sur chaque site, un ou plusieurs transects ont été positionnés à l'interface trouée-peuplement. Le long de lignes où il y avait un fort gradient de lumière et où la densité en ronce présentait de fortes variations, plusieurs points de mesures ont été définis. (Figure 2)
Deux points extrêmes ont été déterminés : l'endroit le plus éclairé, un peu au Nord de la trouée souvent, et le plus sombre, dans le peuplement, quand il n'y avait plus de végétation de sous-bois. Entre ces deux emplacements, plusieurs points de mesure ont été placés à la lisière, là où la végétation change le plus rapidement. Le nombre de points de mesure et la distance entre eux ont été adaptés en fonction de la taille de la trouée, et en fonction de l'évolution du couvert de ronce.

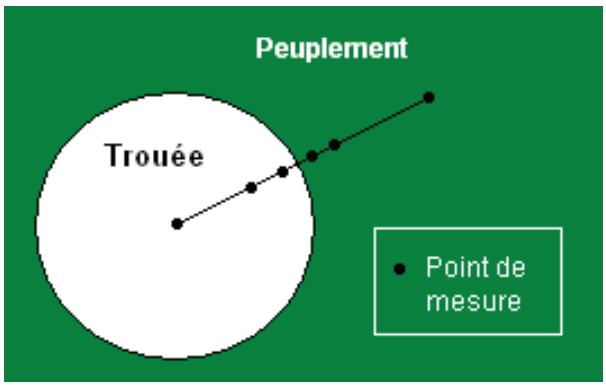



***Figure 2****- représentation schématique de la disposition des points de mesure en transect au sein d'une trouée dans un peuplement.*

Le but était de mettre en relation l'évolution du couvert de ronce avec la disponibilité en lumière, sur un gradient de lumière, de 0 à 100% si possible.

Nous avons ainsi établi 32 transects et 215 points de mesure. (Annexe 3)

À chaque point de mesure, nous avons posé un capteur afin d'enregistrer la disponibilité en lumière à cet endroit, et nous avons déterminé la couverture en ronce.

### 1.2.1- Mesures de lumière

Il s'agissait de mesurer la lumière disponible pour les ronces après qu'une fraction ait été interceptée par les arbres adultes. Les capteurs ont été placés à environ un mètre au-dessus du sol, et impérativement au-dessus des ronciers. Les mesures furent effectuées sur une période d'au moins 24h pour prendre en compte les variations de lumière liées à la course du soleil.

Durant la même période, un autre capteur était placé dans un endroit dégagé de tout obstacle à la lumière (champ, prairie), à proximité des transects. Cela permettait de mesurer le rayonnement incident. Les terrains trouvés n'étant pas toujours complètement dégagés, nous avons parfois fait une photographie hémisphérique à l'aide d'un appareil photo doté d'un objectif Fish-Eye. Puis avec le logiciel Gap Light Analyser, il a été possible de déterminer la course du soleil pour le jour de la mesure, et ainsi connaître les heures réelles d'exposition de ce capteur d'incident. Les résultats des mesures en forêt ont ainsi pu être exprimés en relatif, en % de PAR transmis par rapport à l'incident, ce qui a permit de s'affranchir des variations liées aux conditions climatiques. Si un des capteurs en trouée subissait l'ombrage d'un nuage pendant un certain temps, le capteur mesurant l'incident dans une zone à proximité le percevait également. De plus, au niveau de l'incident, la quantité de rayonnement global et de rayonnement diffus a été mesurée.

- Acquisition des données

Ces mesures de lumière ont été effectuées avec une méthode directe, à l'aide de capteurs.

On mesurait le PAR (Photosynthetically Active Radiation), c'est-à-dire le rayonnement utile à la photosynthèse (400-700 nm). Cette mesure fut effectuée à l'aide de capteurs quantiques SOLEMS, modèle PAR/CBE 80. Ils contenaient une cellule photovoltaïque circulaire en silicium amorphe, et étaient étanches. Le silicium est une photodiode qui a la capacité de convertir le flux lumineux en courant continu, qui était mesuré. (Annexe 4)

***Photo 2**- Capteur SOLEMS PAR.*

Les capteurs étaient fixés sur des tubes en aluminium, de hauteur réglable, eux-mêmes insérés dans un tube en inox planté dans le sol. Il était nécessaire de vérifier l'horizontalité des capteurs avec un niveau à bulle, car il est important que les rayonnements arrivent dessus avec le même angle. Nous les avons paramétrés pour mesurer la lumière toutes les 60 secondes.

Les capteurs SOLEMS étaient reliés par quatre maximum à des centrales d'acquisition « Centrales PIAF », par des câbles de 5 ou 10m. Ces centrales sont équipées d'émetteurs, et sont alimentées par 2 piles LR6 de 1,5 V. Nous avions à notre disposition 16 centrales PIAF et 52 capteurs.

▪ Récupération des données

Les données enregistrées par les centrales PIAF sont récupérées au bout de 24h de mesure, à l'aide d'un récepteur « PEPIPIAF ». Ce dernier est branché par port USB à un mini-ordinateur de terrain, un Panasonic CF-19 Toughbook. Le récepteur intercepte le signal émis toutes les minutes par les émetteurs des centrales, et l'ordinateur les acquière sous forme de données numériques grâce au logiciel CentralPIAF®. (Figure 3)

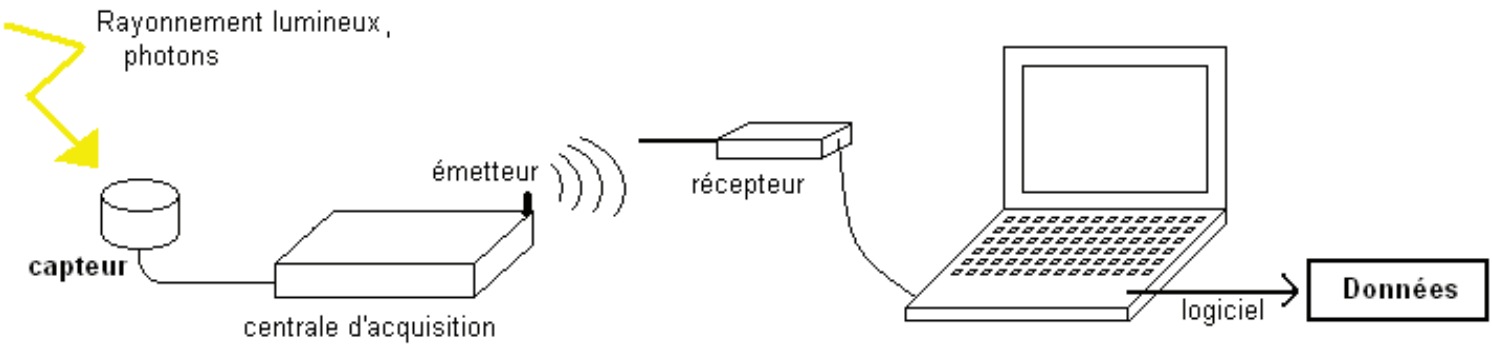



***Figure 3*** *- Schéma de principe de l'acquisition des données de luminosité à partir des capteurs SOLEMS.*

▪ Étalonnage

Avant la campagne de mesure en forêt, les capteurs ont été placés dans un champ à découvert, durant plusieurs journées ensoleillées. À partir de ces données, il a été possible de déterminer un coefficient de correction pour chaque capteur, par rapport à un capteur étalon. Il s'agissait d'éliminer les erreurs dues à leurs différences de sensibilité. La gamme de précision fournie par le constructeur est en effet assez large, et le vieillissement des capteurs peut influer sur

leur efficacité. Cela a également permis de tester le bon fonctionnement du matériel avant d'aller sur le terrain.

***Photo 3**- Dispositif mis en place pour l'étalonnage – Capteurs et centrales.*

1.2.2- Caractérisation de la végétation du sous-bois

▪ La ronce

Le but de l'étude étant de relier le recouvrement de *Rubus fruticosus* à la quantité de lumière mesurée avec les capteurs, on a quantifié la couverture du sol en ronces au niveau de chaque point de mesure. Cette estimation du développement de la ronce a été effectuée avant de faire les mesures de lumière, pour éviter de l'endommager au cours de la pose des capteurs.
Ainsi, la mesure du couvert de ronces consistait à :

- Mesurer la hauteur moyenne et maximale des ronciers (pour une même quantité de lumière transmise au sol, les jeunes arbres dépasseront plus facilement un couvert en ronce de faible hauteur).

- Apprécier visuellement le couvert : il s'agit de faire mentalement une projection verticale du feuillage au sol, et d'estimer quel pourcentage de sol est couvert, sur une surface

définie. Toutefois, cette méthode est assez subjective, il peut y avoir de fortes différences selon l'observateur. C'est donc toujours le même observateur qui a effectué cette estimation.
De plus, la ronce est parfois très dense, et ses feuilles sont réparties de manière à capter au mieux la lumière. Il existe un risque qu'elles recouvrent souvent le sol à 100% à vue d'œil une fois bien développée, alors que la quantité réelle de feuilles sur cette surface est différente. Il s'agit d'un artefact de cette méthode de mesure du couvert pour la ronce ; un paramètre supplémentaire plus juste est nécessaire.

- Ainsi nous voulions utiliser le LAI (Leaf Area Index), l'indice de surface foliaire, soit le nombre de m² de surface foliaire par m² de sol. Ce paramètre serait plus représentatif qu'une estimation visuelle du recouvrement pour décrire le développement du couvert de ronce.
En pratique, il faut donc prélever toutes les feuilles présentes sur une certaine surface, et les passer dans une machine appelée planimètre, qui mesure la surface de chaque feuille/afin de déterminer leur surface.
Mais cette méthode est peu évidente à mettre en œuvre sur le terrain, plutôt longue, et serait trop lourde à effectuer sur tous les points de mesures. Elle est également destructive, ce qui peut poser problème sur certains sites, dans les espaces protégés par exemple.

C'est pourquoi nous avons voulu estimer cette variable par un procédé plus simple, employé en prairie pour mesurer la densité foliaire. Il s'agit de laisser tomber une aiguille en métal dans la végétation. Par observation, on compte ensuite le nombre de points de contact de l'aiguille avec les feuilles, ce qui donne une idée de l'empilement des surfaces foliaires.

Nous avons donc mis au point une méthode basée sur ce principe (Annexe 5).

Nous avons utilisé quatre tiges en métal d'un mètre de hauteur, et de diamètre 8 mm, soudées à un cadre métallique de 30x30 cm. Ce dispositif est lâché sur le couvert de ronce, au niveau du point de mesure choisi. Une autre aiguille est lâchée au dessus de cette zone, à deux reprises. Il est ainsi possible de compter un certain nombre de points de contact entre les 6 aiguilles et la biomasse de ronce. On considère comme point de contact toute feuille (donc foliole ou pétiole) ou toute tige touchant une aiguille.

- Autres espèces présentes

Il était nécessaire de recenser les espèces autres que la ronce éventuellement présentes sur ce carré de 30x30 cm, et d'en évaluer le couvert, ainsi que la hauteur, pour savoir si elles étaient au-dessus ou en-dessous des ronciers et dans quelles proportions.
Nous avons donc identifié et dénombré les principales espèces végétales présentes au niveau de chaque point de mesure.

### 1.3- Analyse des données

Nous avons effectué un traitement statistique des données à l'aide des logiciels Excel et Statgraphics®.

Il a d'abord fallu corriger les valeurs mesurées par chaque capteur par les coefficients déterminés lors de l'étalonnage. Nous avons également enlevé les valeurs mesurées la nuit et gardé toute celles mesurées entre le lever et le coucher du soleil, d'après le capteur de rayonnement incident (et les résultats de la photographie hémisphérique s'il y avait lieu).
Ensuite, en additionnant les valeurs obtenues à chaque minute, nous avons obtenu la quantité de lumière reçue par chaque capteur au cours de la journée. Cette valeur étant rapportée à celle de l'incident (qui représente 100% de la quantité de PAR reçue durant les mesures), nous avions au final un pourcentage représentant la quantité de lumière reçue à chaque point de mesure. Une dernière correction a été apportée aux résultats, car en sous-bois, les mesures effectuées lorsque le diffus est important ont tendance à être surestimées [8]. Un coefficient lié au rapport diffus/global est donc mis en facteur afin de corriger les valeurs de pourcentage de transmis.

L'ensemble des résultats a ensuite été analysé avec des droites de régression ou des ANOVA (Analysis of variance), afin d'établir des liens éventuels entre les différentes variables.

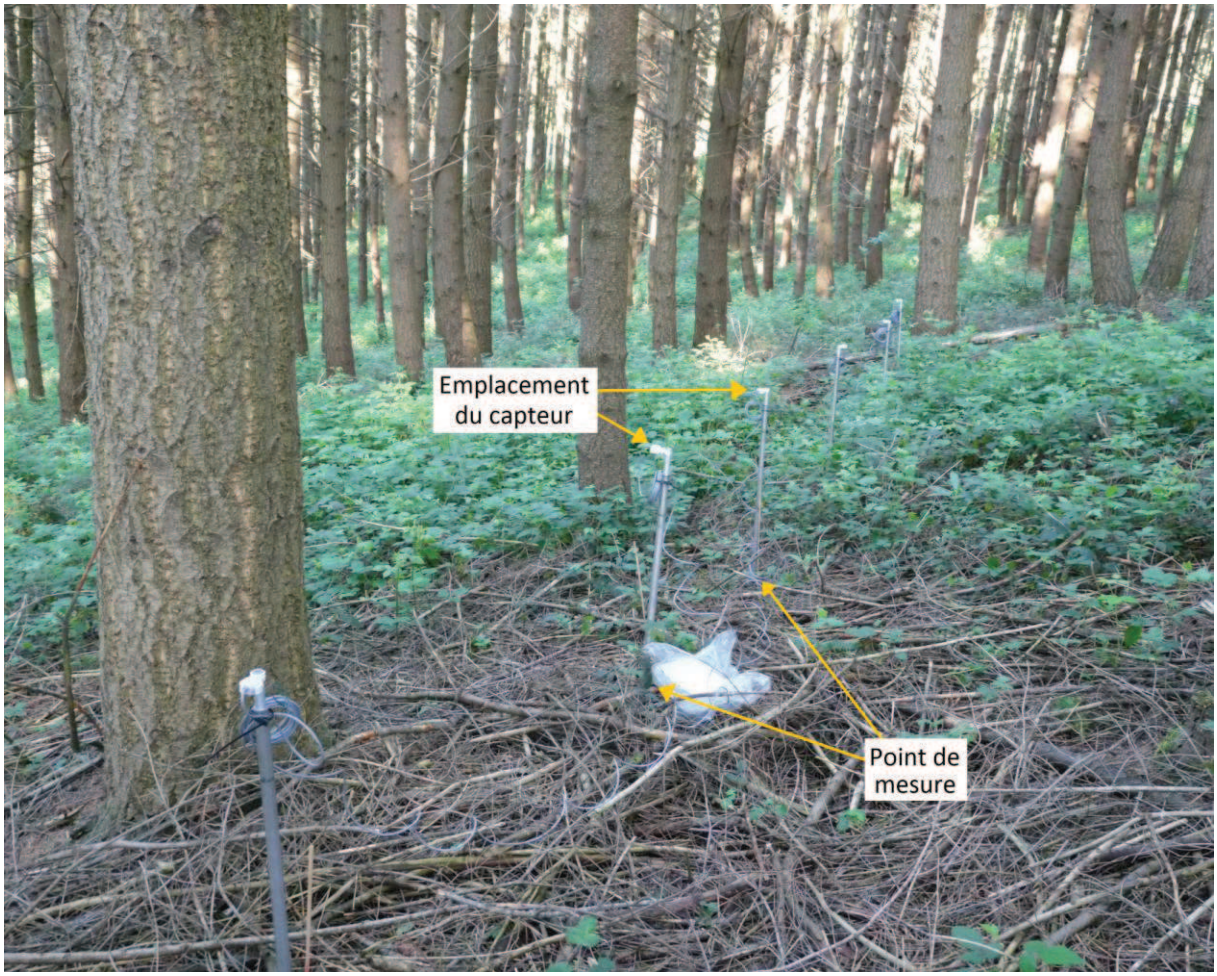



***Photo 4****- Illustration des mesures de lumière sur le transect 7, où les capteurs Solems ont été placés suivant un gradient en ronce.*

# 2- RÉSULTATS

## 2.1- Relation de la ronce avec l'éclairement

### 2.1.1- LAI en fonction du pourcentage de lumière transmise

• Le pourcentage de lumière transmise en un point est bien une variable, qui influe sur la surface foliaire de ronce au m².

Ainsi, le modèle le plus adapté pour relier le LAI de la ronce au pourcentage de lumière mesuré est une courbe logarithmique, avec une probabilité très significative (<0.0001). (Figure 4) L'équation de cette courbe est la suivante :

LAI = -0.0249013 + 0.46436*ln(Transmis)

Le coefficient de détermination ($R^2$) est de 26%, c'est-à-dire que les variations du LAI sont expliquées à 26% par le transmis. (Figure 4)

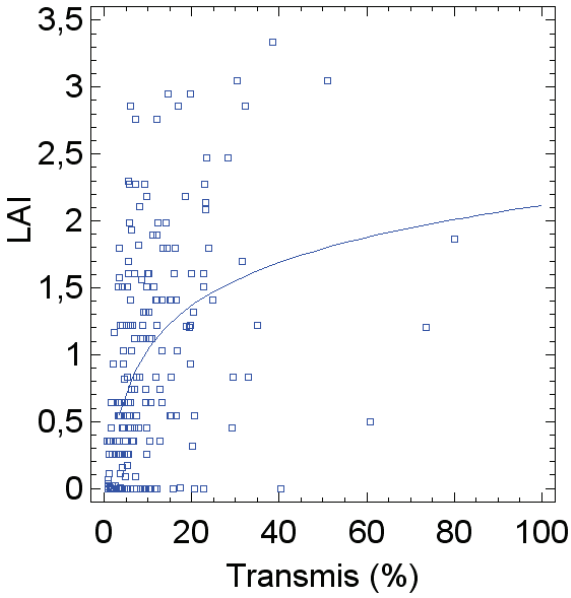



***Figure 4**- régression logarithmique du LAI (en m² de surface foliaire de ronce par m² de sol) en fonction du pourcentage de lumière transmise.*

• Cependant, il existe une forte variabilité. Nous avons donc également cherché à savoir si le type d'essence sous lequel ont été effectuées les mesures (résineux ou feuillus) a une importance dans la relation LAI / Transmis. Il est apparu que la variable essence influence significativement ($R^2$ = 32% ; $p < 0.0001$) la relation entre le transmis et le LAI de la ronce. (Figure 5)

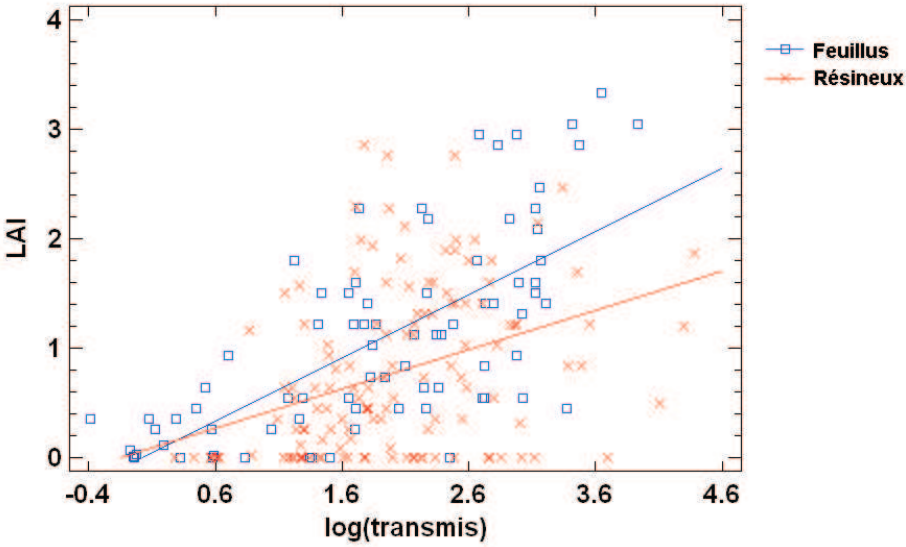



***Figure 5**- Régression logarithmique du LAI en fonction du % de transmis.*

On voit qu'en moyenne, le LAI a tendance à être plus élevé sous feuillus que sous résineux.

### 2.1.2- Seuil de développement de la ronce

Afin de déterminer le seuil de lumière à partir duquel le LAI de la ronce augmente significativement, nous avons travaillé en ANOVA. L'analyse de variance du LAI, avec pour variables le transmis et le type d'essence, nécessite d'utiliser un nombre limité de classes, avec des effectifs égaux. C'est pourquoi les pourcentages de transmis on été regroupés en sept classes. Au sein de la classe où le transmis est supérieur à 20, une valeur va jusqu'à 80%, mais une grande majorité est située entre 20 et 40%. L'Anova permet une comparaison des différentes classes d'un point de vue statistique. (Figure 6)

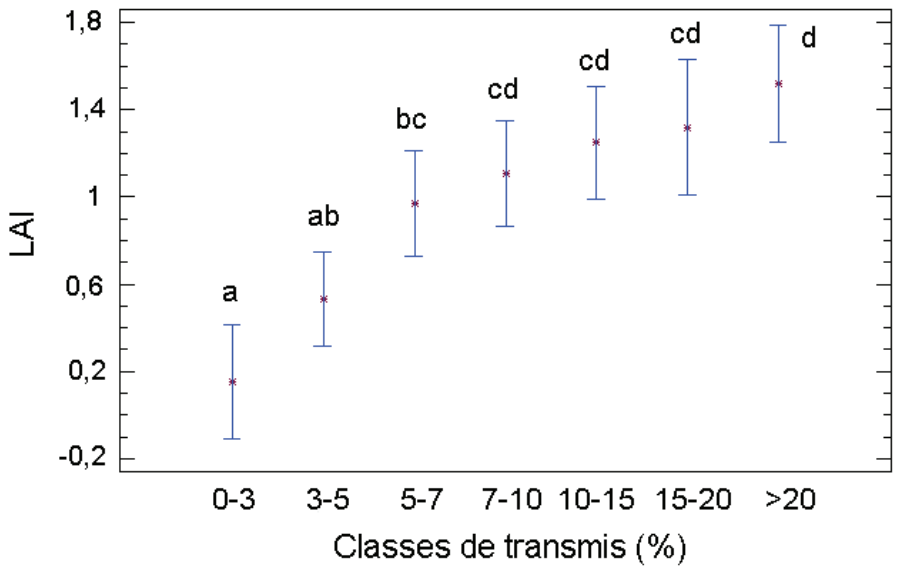



***Figure 6****- Analyse de variance (moyenne et intervalle de confiance) entre le LAI et le transmis (p < 0.0001). Les lettres a , b, c et d représentent les différents niveaux de significativité statistique.*

On constate que le LAI pour la classe 0-3 % de transmis est statistiquement inférieur à celui de la classe 5-7% pour laquelle il augmente beaucoup. Au-delà de cette classe 5-7% il n'y a plus de différence significative de LAI entre classes, excepté pour la classe >20% dont le LAI est statistiquement plus élevé que la classe 5-7%.

### 2.1.3- Liens avec le taux de recouvrement

En ce qui concerne le pourcentage de recouvrement du sol par la ronce, estimé visuellement, il suit la même tendance que le LAI (Figure 7).

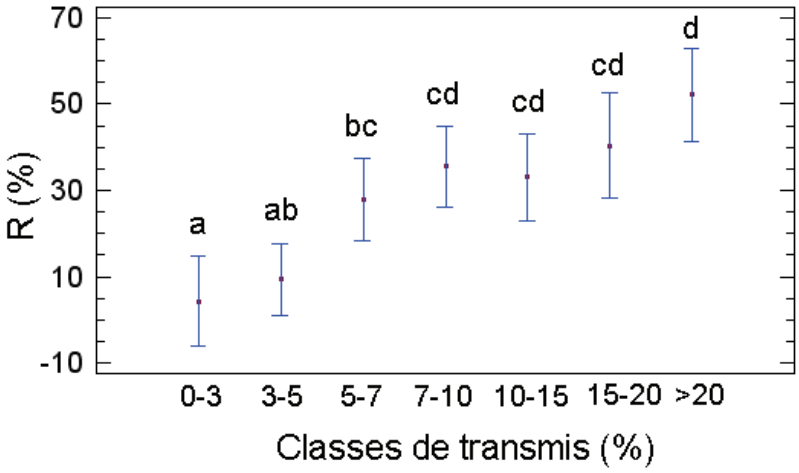



***Figure** 7- Analyse de variance entre le taux de recouvrement de la ronce et le transmis.(p <0.0001) Les lettres a , b, c et d représentent les différents niveaux de significativité statistique.*

En effet, on peut voir qu'il y a également quatre niveaux significatifs différents, répartis aux mêmes classes de pourcentages lumière.

De plus, en effectuant la régression du LAI en fonction du recouvrement estimé, on s'aperçoit qu'il existe une relation linéaire, qui explique le LAI à 84%. (Figure 8) Cette relation n'apparaissait pas lors de la mise au point de la méthode des aiguilles, où il y avait seulement 12 valeurs.

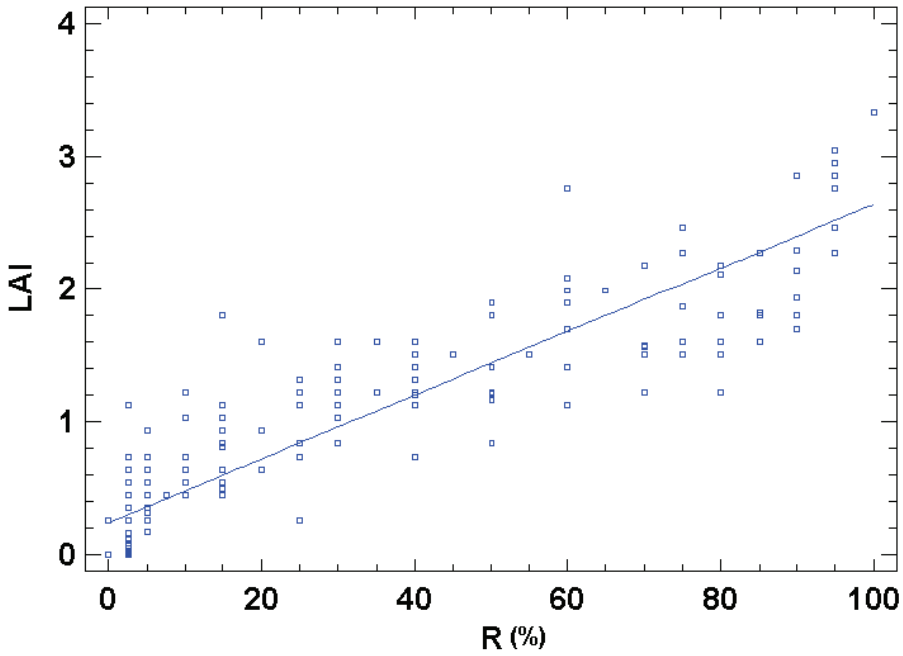



***Figure 8**- Relation entre le LAI et le taux de recouvrement de la ronce estimé visuellement. LAI = 0.238315 + 0.0240148*R ; $R^2$ = 84% ; p < 0.0001*

2.1.4- Hauteur moyenne de la ronce en fonction du transmis

En effectuant une Anova du LAI, avec pour variable le transmis, on voit que trois groupes homogènes sont identifiés, et traduisent que la hauteur de ronce suit l'augmentation de la lumière. (Figure 9)

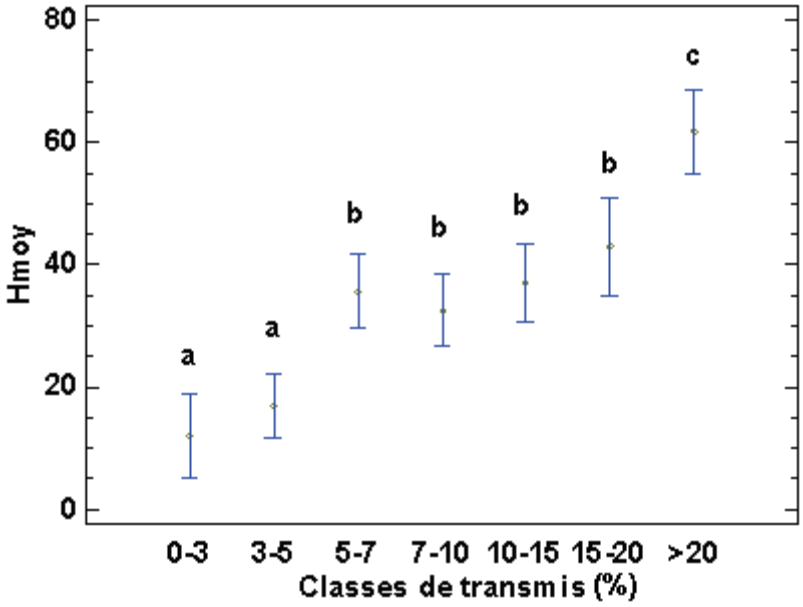



***Figure 9**- Analyse de variance entre la hauteur moyenne de la ronce et le pourcentage de transmis. (p < 0,0001) Les lettres a , b, et c représentent les différents niveaux de significativité statistique.*

Au-delà de 20% de lumière transmise, la ronce peut déjà mesurer jusqu'à 60 cm de hauteur moyenne, et même 40 cm lorsqu'il a plus de 5% de transmis. L'analyse de variance de la hauteur maximale donne les mêmes résultats, le pourcentage de lumière transmise à la ronce influence de manière très significative sa hauteur maximale ($p < 0,0001$).

## 2.2- Végétation accompagnatrice de la ronce

2.2.1- Richesse spécifique

Le nombre d'espèces végétales recensé à chaque point de mesure représente la richesse spécifique $\alpha$ en ce point. Nous avons effectué une Anova en cherchant à expliquer la richesse spécifique par l'indice de surface foliaire de la ronce. (Figure 10)

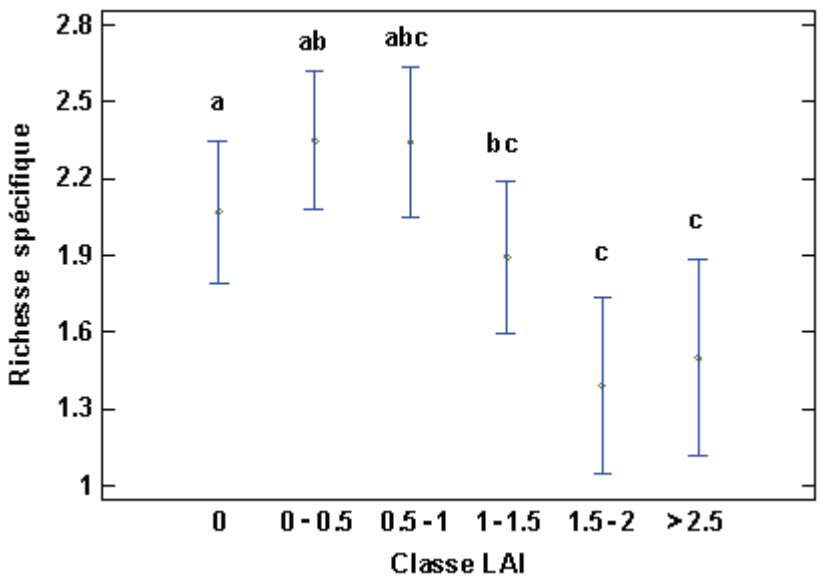



***Figure 10**- Analyse de variance entre la richesse spécifique et le pourcentage de LAI.(p < 0,001)*
*Les lettres a , b, et c représentent les différents niveaux de significativité statistique.*

Le premier point, pour un LAI de 0, n'est pas significativement différent des deux suivants. Jusqu'à des LAI de 1, il y a environ deux ou trois espèces, puis on constate une diminution franche et significative du nombre d'espèce lorsque le LAI augmente, le nombre d'espèce est diminué de moitié. Au maximum, nous avons trouvé jusqu'à 6 espèces différentes sur une surface de 30 x 30 cm.

### 2.2.2- Nombre de semis en fonction du LAI de la ronce

Nous avons cherché à mettre en relation le nombre de semis d'arbres recensés en un point avec la surface foliaire de la ronce en ce même point. (Figure 11) On constate que le nombre de semis présent dans un carré de 30 x 30cm diminue lorsque le LAI augmente. Il n'y a pas de véritable relation pour relier ces deux variables, mais ici c'est surtout pour les LAI supérieurs à 2 que le nombre de semis diminue fortement.

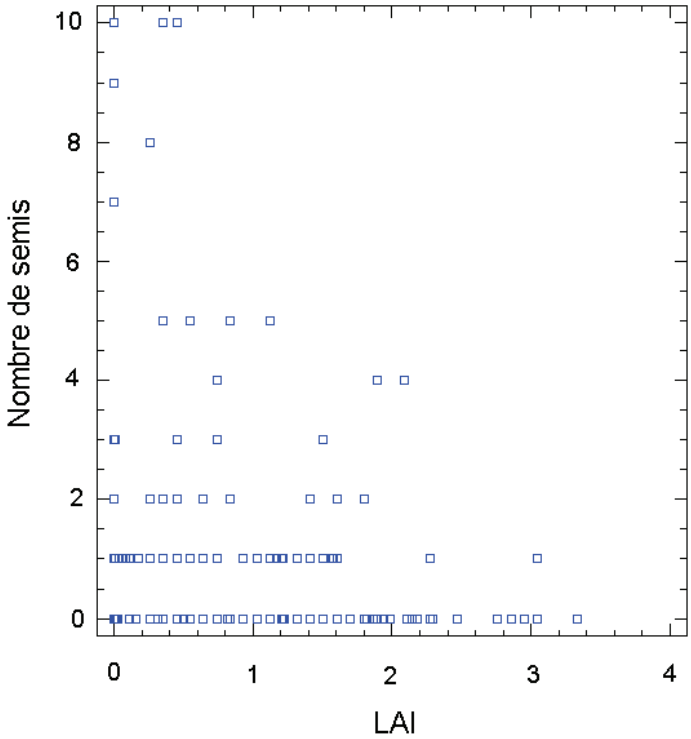



***Figure 11**- Nuage de point du nombre de semis en fonction du LAI*

### 2.3- Autres résultats

De par les sondages pédologiques effectués, nous avons constaté que la ronce se développe sur des textures de sol assez variées (Annexe 3). Sur l'ensemble des sites, il y avait cinq textures de sol différentes. D'après l'analyse de variance, la variabilité du LAI ne semble pas pouvoir être expliquée par les différences de texture des sols, ce n'est pas une variable significative ($p = 0.048$).

# 3- DISCUSSION

## 3.1-Développement de *Rubus fruticosus* en fonction de l'éclairement

Il existe bien une relation entre le couvert de ronce et le transmis. Comme on s'y attendait, il s'agit d'une relation logarithmique ; la surface foliaire par m² augmente rapidement, à des taux de transmis faibles (< 5%) pour se stabiliser ensuite (au delà de 10%).
Toutefois, nous ne pouvions parfois pas aller tout à fait au centre des trouées, car les buissons de ronces étaient trop épais et trop hauts : nous n'aurions pas pu entrer dedans sans perturber la disposition de la ronce, ce qui aurait faussé les mesures. Les gammes de lumière les plus élevées n'ont donc pas pu être explorées autant que les gammes les plus faibles (80% de lumière transmise est le maximum dans notre étude et encore pour quelques points seulement). On ne sait donc pas si le LAI de la ronce peut être encore plus élevé pour des valeurs de lumière plus importante, ou si ce seuil à été atteint. Des travaux passés (Balandier, non publié) ont relevé à découvert des LAI de ronce allant jusqu'à 3.8 contre 3.3 dans notre étude. Il est donc probable que nous ayons été en dessous du maximum de développement de la ronce.

Les taux de recouvrement que nous avons estimé vont dans le même sens que le LAI : pour les taux de transmis inférieurs à 7%, l'augmentation du couvert en fonction du transmis est rapide, et se stabilise ensuite. Ce résultat est intéressant car il montre qu'il sera possible d'utiliser le taux de recouvrement, facilement mesurable, comme estimateur du LAI, plus relié aux processus biologiques en gestion forestière.

Dans l'ensemble, il apparaît que la ronce est plus développée lorsqu'elle croît sous feuillus plutôt que sous résineux. Cela rejoint l'hypothèse formulée au cours de l'étude : cette différence de développement est probablement due aux variations de la canopée au cours des saisons pour les arbres à feuilles caduques. Les jeunes ronces se développent très tôt en saison, voire même ne perdent pas leurs feuilles au cours de l'hiver. Elles disposent donc de plus de lumière sous feuillus, puisque ces derniers n'ont pas encore reconstitué leur feuillage, alors que sous résineux, le couvert du peuplement est constant tout au long de l'année.

La hauteur de ronce est également bien liée à la lumière transmise sous couvert et atteint pratiquement 40 cm de haut dès 7% de transmis. Dans notre étude la maximum de hauteur mesurée est de 175 cm pour 30% de transmis seulement.

Nous avons observé une forte variabilité du LAI, du recouvrement de la ronce ou de sa hauteur pour une même valeur de transmis. Cela peut s'expliquer par la fertilité différente pour les sites, par la concurrence exercée par d'autres plantes, ou peut-être par la grande variété des sous-espèces de la ronce (plus d'une centaine), ou encore par le broutage occasionné par les ongulés sauvages.

Cette espèce est considérée comme une espèce héliophile, mais tolérant l'ombre (Annexe 2 et flore de Rameau). Or notre étude montre que la ronce est probablement beaucoup plus résistante à l'ombre et développée dans le sous-bois que ne le laisse supposer la littérature.

## 3.2- Conséquences en termes de gestion

Le développement de la ronce est donc particulièrement explosif dès de très faibles éclairements. Or cette espèce a une très forte capacité d'interception de la lumière. Des études en France et en Angleterre ont montré que la lumière mesurée sous des ronciers avec des LAI de 0.5 à 3.8 variait de 50 à moins de 2% [2].

Cela a des conséquences en termes de renouvellement de la forêt. Notre étude montre qu'il y a une tendance à la diminution du nombre de semis d'arbres quand le LAI de la ronce augmente. Cela confirme donc que la ronce a un effet négatif sur la régénération, de par sa surface foliaire, elle empêche la lumière d'atteindre les semis, et limite leur développement. C'est surtout au-delà d'un LAI de 2 qu'il y a moins de semis. Pour des LAI plus faibles, ramené à l'hectare, le nombre de semis peut être suffisamment important pour assurer la régénération (jusqu'à 110 semis par m² pour des LAI de ronce inférieur à 1). Dans ce cas elle peut même avoir un rôle bénéfique de protection des semis, évoqué dans certains articles (voir introduction). Cependant des LAI de ronce supérieur à 1 peuvent déjà être observés à 10% de lumière (Figure 4). Avec ce transmis la ronce dépasse déjà 40 cm de haut et intercepte une forte partie de la lumière, déjà faible. Dans ces conditions, seuls les semis des espèces d'arbres

les plus tolérants à l'ombre pourront s'installer au sein de la ronce. Il semble donc difficile de limiter la taille des trouées pour que seulement 10% de PAR soit disponible pour diminuer le couvert de ronce, tout en assurant la régénération des arbres de nombreuses espèces.

Dans un cadre de favorisation de la biodiversité, la présence de ronce doit être modérée, puisque la richesse spécifique en espèces diminue avec l'augmentation du couvert de ronce. Il faudrait limiter le couvert de ronce en dessous de 1.5 m² de feuilles de ronce par m² de sol (soit environ 20% de lumière, figure 4) si l'on souhaite une plus grande diversité d'espèces.

En revanche, en ce qui concerne la gestion cynégétique, où l'intérêt est d'augmenter le LAI de la ronce, le fait qu'elle se développe à des taux de lumière si faibles est un atout. Il n'est pas nécessaire de faire de grandes trouées au sein du peuplement pour que le couvert soit important, notamment sous feuillus De petites éclaircies peuvent apporter suffisamment de lumière pour que *Rubus fruticosus* se développe fortement, et forme au bout de quelques années de croissance des buissons susceptibles d'accueillir le gibier, ou de le nourrir.

# CONCLUSION

L'étude que nous avons réalisée dans le but de relier le développement de l'espèce colonisatrice *Rubus fruticosus* à la disponibilité en lumière dans le sous-bois a permis de caractériser la relation qui les lie, ainsi que d'établir divers seuils.

Comme on le supposait, il existe une relation logarithmique entre la couverture en ronce et le taux de lumière qui lui est transmis. Ainsi la ronce se développe fortement et dès des éclairements faibles, inférieurs à 10%, et tend ensuite à se stabiliser, jusqu'à un développement maximum que nous n'avons pas pu déterminer. C'est une espèce qui supporte très bien l'ombre, et se développe de manière un peu plus importante sous feuillus que sous résineux.

Lorsque cette espèce colonisatrice est développée au-delà d'un LAI de 1,5, sa présence entraîne une diminution de la richesse spécifique, et nuit donc à la biodiversité. En ce qui concerne la régénération, nous avons confirmé que l'ombre exercée par la ronce gène le développement des jeunes arbres, puisque le nombre de semis d'arbres diminue quand le LAI de la ronce augmente, surtout au-delà d'un indice foliaire de 2. Il semble donc difficile d'arriver à un compromis de lumière dans le sous-bois qui puisse limiter le couvert de ronce (i.e. lumière < 10%) tout en permettant la croissance des jeunes arbres, sauf peut-être pour les espèces très tolérantes à l'ombre. (Figure 12)

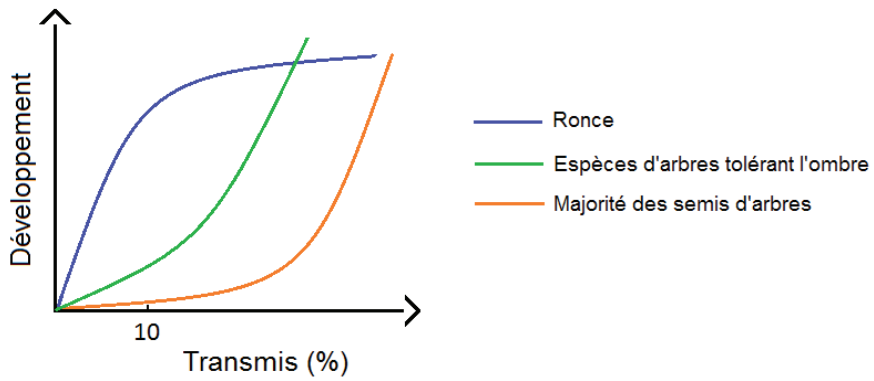



***Figure 12*** *– Allure des courbes de développement de la ronce et des semis d'arbres en fonction de la lumière disponible.*

En revanche, pour les gestionnaires qui souhaitent favoriser le développement de la ronce en vue d'accueillir du gibier, il n'est pas forcément nécessaire de créer de fortes trouées au sein du peuplement pour avoir une surface foliaire de ronces assez importante.

Le lien effectué entre le taux de recouvrement et l'indice foliaire permettra aux gestionnaires d'utiliser les conclusions de cette étude directement en sous-bois.

# BIBLIOGRAPHIE


[1] Balandier P., Collet C., Miller J.H., Reynolds P.E., Zedaker S.M., Designing forest vegetation management strategies based on the mechanisms and dynamics of crop tree competition by neighbouring vegetation. Forestry 79 (2006) 3-27.

[2] Balandier P., Marquier A., Dumas Y., Gaudio N., Philippe G., Da Silva D., Adam B., Ginisty C., Sinoquet H., Light sharing among different forest strata for sustainable management of vegetation and regeneration. Forestry in achieving millennium goals, Orlovic S. (Ed.), Institute of lowland forestry and environment, Novi Sad, Serbie, 13-15 novembre 2008, (2009) 81-86.

[3] Balandier P., Pauwels D., La lumière, outil sylvicole pour favoriser la diversité végétale ou la gestion cynégétique des peuplements de mélèze (*Larix sp*). Forêt Wallone 61 (2002) 9-13.

[4] Deconchat M., Balent G., Effets des perturbations du sol et de la mise en lumière occasionnées par l'exploitation forestière sur la flore à une échelle fine. Ann. For. Sci. 58 (2001) 315-328.

[5] Gama A., Dumas Y., Frochot H., Utilisation des herbicides en forêt et gestion durable. Editions Quae, (2006) 220-221

[6] Labouret A., Détecteurs quantiques de PAR et de rayonnement solaire : validité, conditions d'emploi, étalonnage. Cahier des techniques spécial « rayonnement », SOLEMS S.A. 6 p

[7] Prévosto B., Robert A., Coquillard P., Development of *Cytisus scoparius* L. at stand and individual level in a mid-elevation mountain of the French Massif Central. Acta Oecologica 25 (2004) 73-81

[8] Sonohat G., Balandier P., Sinoquet H., Varlet-Grancher C., Jouvie R., de Berranger C., Dumas Y., Gosselin F., Mesure de l'éclairement au sol dans les peuplements forestiers réguliers et relations avec leurs caractéristiques dendrométriques. Cemagref (2003) 87 p.

[9] Wehrlen.L, La Ronce (*Rubus fruticosus* L. agg.) en forêt. Rev For Fr 37(4) (1985) 288-304.

[10] Willoughby I., Balandier P., Bentsen N.S., McCarthy N., Claridge J., Forest vegetation management in Europe : current practice and future requirements. COST Office (2009) 156 p.

Illustration 1 : Google Earth

# ANNEXES

Annexe 1 - Carte de situation des sites ……25

Annexe 2 - Informations relatives à la ronce ……26

Annexe 3 - Caractéristiques des transects ……27

Annexe 4 - Capteur SOLEMS PAR/CBE 80 ……28

Annexe 5 - Mise au point de la méthode de mesure de surface foliaire par lâcher d'aiguilles ……..……30

# ANNEXE 1 – Carte de situation des sites

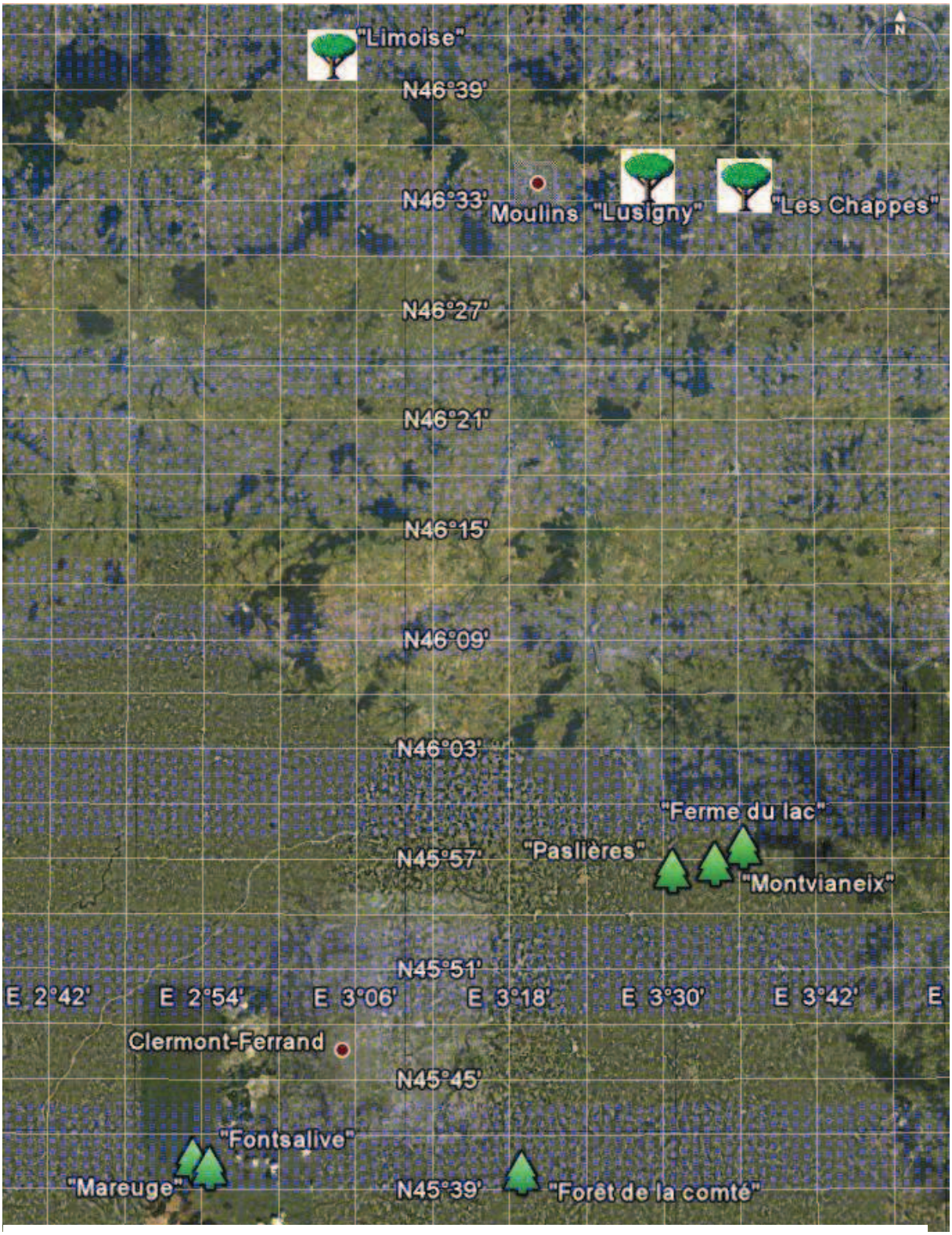



***Illustration 1****- Carte de localisation des différents sites où des transects ont été mis en place.*

# ANNEXE 2 – Informations relatives à la ronce [9]

| | |
|---|---|
| Nom commun | Ronce |
| Nom latin | *Rubus fruticosus* L. |
| Famille | Rosaceae |
| Floraison | juin-août |
| Hauteur | Jusqu'à plusieurs mètres |
| Habitat | Haies, clairières et coupes forestières récentes |
| Altitude | ≤ 2000 m |
| Reproduction | Fruits (mûres) + multiplication végétative |
| Affinité pour la lumière | Espèce héliophile/demi-ombre [4] |

***Photo 5*** *– Rubus fruticosus*

# ANNEXE 3 – Caractéristiques des transects

| Site | Coordonnées | Numéro de transect | Nombre de points | Type de sol |
|---|---|---|---|---|
| Ferme du lac | N 45° 55' 92" ; E 003° 36'  11" | 1 | 8 | Limono-sableux |
| Ferme du lac | | 2 | 8 | Limono-sableux |
| Ferme du lac | N 45° 55' 68" ; E 003° 35' 70" | 3 | 7 | Limono-sableux |
| Ferme du lac | | 4 | 5 | Limono-sableux |
| Montvianeix | N 45° 55' 08" ; E 003° 34' 13" | 5 | 7 | Limono-sableux |
| Montvianeix | | 6 | 7 | Limono-sableux |
| Montvianeix | | 7 | 6 | Limono-sableux |
| Montvianeix | N 45° 55' 25" ; E 003° 33' 94" | 8 | 6 | Sablo-limoneux |
| Montvianeix | | 9 | 7 | Sablo-limoneux |
| Paslières | | 10 | 7 | Sablo-limoneux |
| Paslières | N 45° 54' 89" ; E 003° 30' 75" | 11 | 6 | Sablo-limoneux |
| Comté | N 45° 38' 18" ; E 003° 18' 25" | 12 | 6 | Limono-argileux |
| Comté | | 13 | 6 | Limono-argileux |
| Comté | N 45° 38' 30" ; E 003° 18' 30" | 14 | 8 | Limono-argileux |
| Comté | | 15 | 8 | Limono-argileux |
| Comté | | 16 | 7 | Limono-argileux |
| Comté | N 45° 38' 36" ; E 003° 19' 93" | 17 | 7 | Limono-argileux |
| Comté | | 18 | 7 | Limono-argileux |
| Mareuge | N 45° 37' 06" ; E 002° 54' 44" | 19 | 7 | Sablo-limoneux |
| Mareuge | | 20 | 5 | Sablo-limoneux |
| Fontsalive | N 45° 39' 11" ; E 002° 52' 99" | 21 | 7 | Limoneux |
| Fontsalive | | 22 | 7 | Limoneux |
| Lusigny | N 46° 34' 33" ; E 003° 29' 21" | 23 | 8 | Sablo-limoneux |
| Lusigny | | 24 | 7 | Sablo-limoneux |
| Lusigny | | 25 | 7 | Sablo-limoneux |
| Lusigny | N 46° 34' 26" ; E 003° 28' 75" | 26 | 7 | Sablo-limoneux |
| Chappes | N 46° 34' 35" ; E 003° 36' 60" | 27 | 6 | Sablo-limoneux |
| Chappes | | 28 | 7 | Sablo-limoneux |
| Chappes | | 29 | 5 | Sablo-limoneux |
| Limoise | N 46° 40' 80" ; E 003° 03' 94" | 30 | 8 | Argileux |
| Limoise | | 31 | 6 | Argileux |
| Limoise | | 32 | 5 | Argileux |

# ANNEXE 4 – Capteur SOLEMS PAR/CBE 80

Ces capteurs mesurent un rayonnement dans le visible, entre 400 et 700 nm, donc très proche du spectre des longueurs d'ondes utiles aux végétaux. (Figure 13). Utilisés en agronomie notamment, ils permettent de quantifier la lumière reçue, transmise et réfléchie par le couvert végétal.

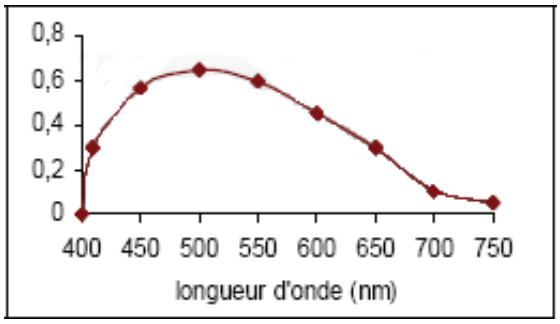



***Figure 13*** *- Graphique représentant la réponse spectrale typique des capteurs PAR.*

Ce sont des capteurs quantiques photovoltaïques : ils utilisent l'énergie radiative des photons qu'ils absorbent, pour libérer des électrons qui produisent un courant électrique. Ils mesurent donc le nombre de photons incidents utiles à la photosynthèse reçus par unité de temps sur une unité de surface horizontale (µmole de PAR $m^{-2}.s^{-1}$) qui est ensuite converti en tension (V). Ce sont des capteurs photovoltaïques.

Leur sensibilité est de 80 mV par 1000 µmoles de PAR/m².

La durabilité de ces capteurs, exposés à l'extérieur dans toutes les conditions climatiques, a été particulièrement privilégiée :

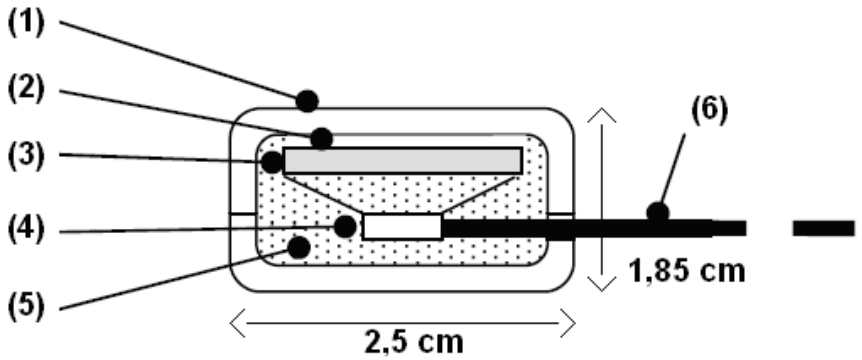



***Figure 14*** *- Composition d'un capteur SOLEMS* [6].

(1) Capot diffusant : il permet de s'affranchir des effets d'incidence sur le capteur. Cette coque en plastique est translucide et stable aux UV. Elle doit également être résistante mécaniquement, afin de protéger le capteur.

(2) Collage optique

(3) Cellule photovoltaïque : elle est en silicium amorphe, matériau qui répond à faible éclairement et sous ensoleillement diffus.

(4) Électronique de charge

(5) Résine : elle enrobe la cellule avec la résistance, la connexion au câble, et les composants électroniques nécessaires.

(6) Câble blindé, afin d'éviter toute perturbation.

# ANNEXE 5 – Mise au point de la méthode de mesure de la surface foliaire de la ronce par lâcher d'aiguilles

Nous avons voulu voir si la méthode employée en prairie pouvait fonctionner également avec la ronce. Il était impératif de vérifier sa validité pour pouvoir l'utiliser.

Ainsi nous avons effectué des mesures de hauteur de ronce, de recouvrement, et compté le nombre de points de contact avec les aiguilles lâchées, sur 12 carrés de ronces, d'une surface de 30 x 30cm chacun. Toutes les feuilles et les tiges de ronces situées dans cette zone ont ensuite été prélevées. Puis les feuilles ont été passées au planimètre LI-COR LI-3100C Area meter, pour déterminer le total de surface foliaire présent sur ces 900cm², à chaque point de mesure.

Un traitement statistique à été effectué par la suite sur les données obtenues.

Nous avons d'abord calculée la droite de régression linéaire entre la surface foliaire et le recouvrement (Figure 15). Pour les surfaces foliaires les plus élevées, on constate que le taux de recouvrement estimé est très variable. Les points sont assez dispersés, la couverture du sol par certains ronciers a été surestimée, ou au contraire sous-estimée. Il apparaît donc que le recouvrement évalué n'est pas très bien corrélé avec la surface foliaire mesurée.

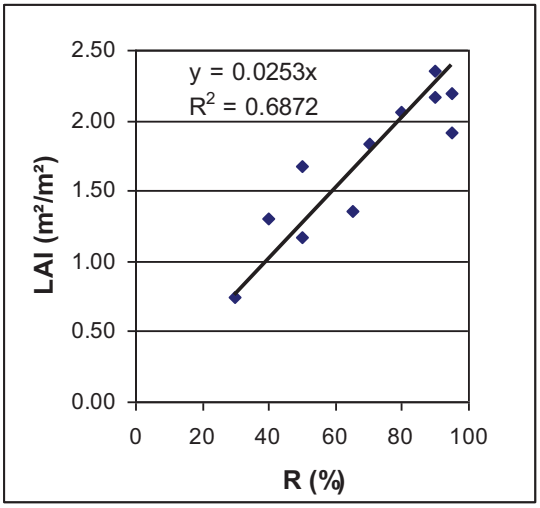



***Figure 15**- Surface foliaire mesurée, ramenée au m², en fonction du recouvrement estimé.*

Cela prouve que l'estimation du taux de recouvrement est peu précise, et que ce n'est pas un paramètre suffisant pour mesurer correctement le couvert de ronce. Il était donc bien nécessaire de relier la surface foliaire à une caractéristique plus juste.

D'après la figure 16 ci-contre, on constate qu'une relation linéaire est établie entre la surface foliaire et le nombre de points de contact avec les feuilles. En revanche, il n'y a pas de relation significative si l'on tient compte uniquement des points de contacts avec les tiges.

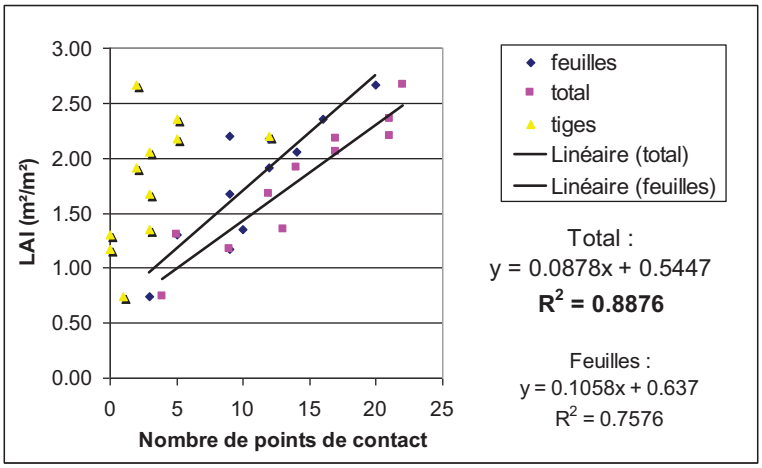



***Figure 16**- Indice foliaire en fonction du nombre de points de contact avec les tiges, les feuilles, et le total des points de contact.*

Toutefois, on remarque que le coefficient de détermination $R^2$ est plus élevé lorsqu'on tient compte à la fois des points de contact avec les feuilles et de ceux avec les tiges de ronces.

Or en statistique, plus le $R^2$ est proche de 1, plus il existe une dépendance linéaire positive entre les deux variables. En outre, à l'aide du logiciel Statgraphics, nous avons pu chercher s'il y avait un modèle plus adapté qu'une relation linéaire. Il est apparu que non, ce type de courbe est bien le plus adapté ici.

Nous avons également voulu vérifier s'il était possible d'améliorer la corrélation en incluant d'autres grandeurs, telle que la hauteur du roncier par exemple. Il est apparu qu'aucun paramètre n'apporte d'amélioration significative, et que le nombre total de points de contact est bien la variable la plus liée à la surface foliaire.

De plus, nous avons cherché à déterminer à partir de combien d'aiguilles lâchées la méthode est suffisamment précise. Pour cela, nous avons calculé les différents coefficients de détermination reliant la surface foliaire au nombre de points de contact pour une aiguille utilisée, deux aiguilles etc. Nous avons ensuite mis en relation les deux paramètres (Figure 17)

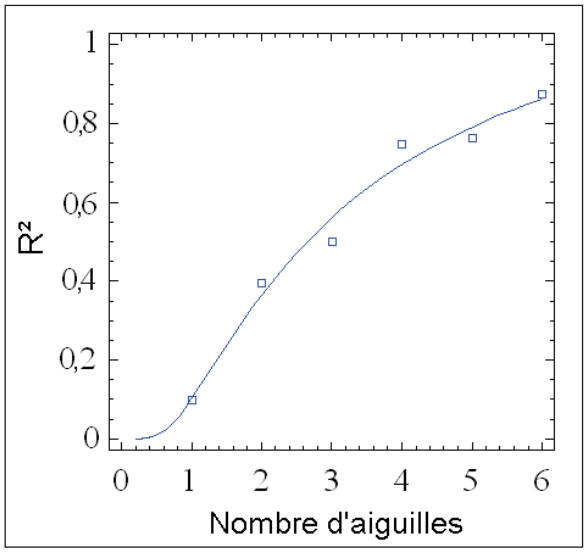
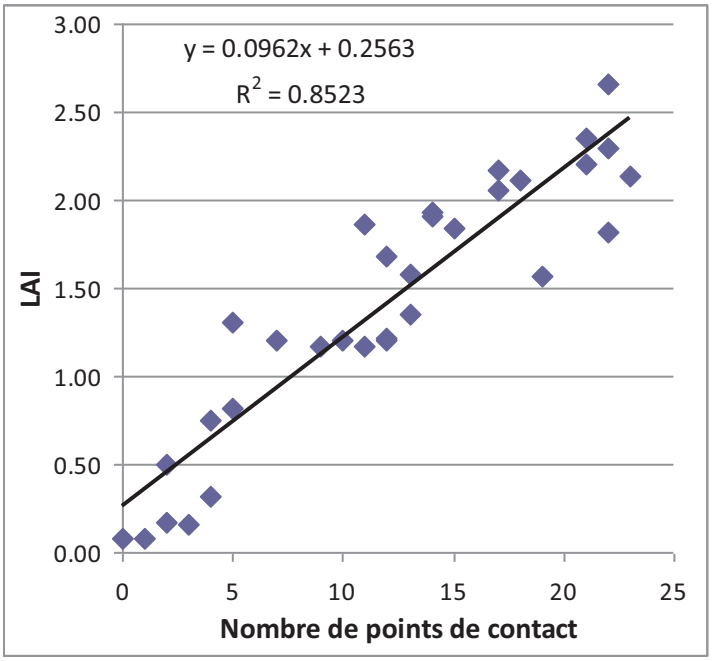



***Figure 17**- Evolution du $R^2$ en fonction du nombre d'aiguilles utilisées.*

L'outil de comparaison de modèles de Statgraphics nous a permis de trouver le type de courbe le plus adapté, soit une courbe en S ici.
On peut voir qu'à partir de six aiguilles utilisées, la courbe a dépassé son point d'inflexion, et commence à se stabiliser et à tendre vers 1. Le coefficient de régression avec six aiguilles est déjà de 0,88.
Nous n'avons pas testé la méthode avec plus d'aiguilles, mais avec un ou deux lâcher de plus, l'amélioration serait minime vu l'allure de la courbe. De plus, six aiguilles semblent être un bon compromis entre le temps de mesure, qui ne doit pas être trop long, et la précision.

La corrélation entre le nombre de points de contact avec la ronce et la surface foliaire a été vérifiée; la méthode est donc validée, et pourra être employée dans le cadre de l'étude.

Au début de la campagne de mesure, nous avons tout de même voulu vérifier que la méthode fonctionnait, même pour les points de mesures en sous-bois. Nous avons donc prélevé les feuilles à chaque point de mesure des transects 12 à 15, et nous les avons ensuite passées au planimètre. Ces données traitées seules donnaient un $R^2$ de 0,84, un peu moins élevé qu'avant donc, mais toutefois encore très correct. Nous avons donc rassemblé l'ensemble des données (Figure 18).




L'équation de cette relation linéaire nous a ensuite permis de calculer la surface foliaire en ronce à chaque point de mesure, à partir du nombre de points de contact.

***Figure 18**- LAI en fonction du nombre de points de contact.*

***Photo 6****- Dispositif de mesure du couvert de ronce : cage et aiguilles métalliques*

***Photo 7****- En hachuré, la zone au sol situées entre les quatre aiguilles du cadre (soit environ 0,09 m²).*