Programme Intégré de Recherches en Agroforesterie à ResTinclières

(PIRAT)

Rapport d'étude 2009

Equipes de recherche

Montpellier SupAgro UMR SYSTEM – Evaluation de l'aptitude du pois chiche à la compétition avec un peuplement de noyers agroforestiers. Approche expérimentale. **p**

Montpellier SupAgro UMR CBGP - Etude des échanges de Phytoseiidae entre les prédateurs présents sur la vigne et sur les arbres co-plantés en agroforesterie **p**

Equipes de développement

Chambre d'Agriculture de l'Hérault – Interactions arbre/vigne **p**

Agroof Développement – Etude de l'impact des aménagements agroforestiers sur les coléoptères carabidae **p**

Montpellier SupAgro UMR SYSTEM – Evaluation de l'aptitude du pois chiche à la compétition avec un peuplement de noyers agroforestiers. Approche expérimentale.

Rapport d'activités PIRAT 2009

INRA Montpellier – UMR System

Adresse	***Correspondant du projet***
Bât.27 - 2 place Pierre Viala	Christian Dupraz
34060 MONTPELLIER Cedex 2	
Chercheurs impliqués	Stagiaire : Alvaro Villalba Gonzales
Lydie Dufour	Techniciens : Jean-François Bourdoncle ; Pierre Parra ; Clément Enard
Aurélie Metay	
Stéphanie Mahieu (LSTM)	
Tél : 04 99 61 30 55	Mail : dufourl@supagro.inra.fr

Photo 1 : Semis de pois chiche à la canne à semer dans la parcelle agroforestière A2 (le 19/02/09)

Préambule

Les légumineuses sont capables de convertir l'azote atmosphérique en composés azotés utiles aux plantes. Ceci est rendu possible par l'existence de nodules sur les racines (visibles à l'œil nu) qui contiennent une bactérie de la famille des rhizobiacées. Cette bactérie peut établir une symbiose avec la plante et permet la fixation de l'azote atmosphérique au bénéfice de la légumineuse.

Les légumineuses ont donc un intérêt environnemental évident, puisqu'elles permettent de réduire les apports d'engrais azoté. Outre le bénéfice pour la légumineuse elle-même, ces plantes peuvent être utilisées dans les associations ou les rotations culturales, enrichissant le sol en azote pendant le cycle de culture et au delà à travers la décomposition des résidus de légumineuses. Ainsi, dans les systèmes agroforestiers, l'enrichissement en azote par une plante légumineuse pourra profiter à la culture suivante, tout en permettant la réduction d'apport d'engrais azoté pendant 2 années consécutives. L'effet bénéfique sur les arbres est moins direct puisque ceux-ci profitent de toutes façons des excès d'azote apportés aux cultures non légumineuses. Dans le Tableau 1, sont résumés les avantages et inconvénients de la culture d'une légumineuse en agroforesterie.

Tableau 1 : Avantages et inconvénients des cultures annuelles intercalaires de légumineuses (Dupraz et al., 1998)

Avantages	Inconvénients
Fixation d'azote atmosphérique	Efficacité inconnue de la fixation à l'ombre
Peu d'exigence en eau et en intrants	Interactions souterraines inconnues
Culture basse, irrigable par asperseur sans mouiller le feuillage des arbres	Ambiance humide sous les arbres, peut favoriser les maladies foliaires
Possibilité de cultiver près des arbres (culture basse ne gêne pas la circulation de l'air)	L'ombre augmente l'abscission des fleurs et des gousses
Terrain propre après récolte	Hétérogénéité de la maturité des grains, gestion difficile de la date de récolte

Il existe très peu d'études publiées sur le comportement des légumineuses à graines en système agroforestier. Quelques études concernent l'arbre sur une légumineuse tropicale à graines (Singh et al., 2007) ou sur le haricot (Ceccon, 2005). Cependant, la plupart des études sur les légumineuses en systèmes agroforestiers concernent des arbres fixateurs d'azote associés à des cultures non fixatrices (Grossman et al., 2006; Kass et al., 1997) et surtout en zone tropicale. Les rares études sur la réussite d'espèces herbacées fixatrices d'azote dans des systèmes agroforestiers tropicaux concernent des mélanges prairiaux contenant des légumineuses ou des cultures fourragères : luzerne (Dupraz et al., 1998), lotier ou trèfle (Douglas et al., 2006; Gadgil et al., 1986; Knowles, 1991).
Il existe une étude sur la productivité du pois chiche dans un système agroforestier en zone aride (Puri et al., 1994). Dans celle-ci, un effet positif des arbres sur le pois chiche est mis en évidence. Cependant, l'espèce d'arbre utilisée : *Proposis cinerea* produit une ombre beaucoup plus légère que le noyer et c'est aussi une légumineuse.

La réussite de systèmes agroforestiers avec des cultures intercalaires de légumineuses dépend en particulier de l'efficacité, dans des conditions ombragées, de la fixation d'azote. Il s'agit d'un processus énergétiquement coûteux et on considère en général qu'il diminue à l'ombre. La première étape pour comprendre l'impact des arbres sur la productivité du pois chiche est d'étudier les mécanismes de l'élaboration du rendement. Il existe des publications sur ce sujet (Singh, 1991; Singh and Virmani, 1996) qui soulignent l'intérêt d'un stress hydrique modéré pendant la phase de floraison pour améliorer l'indice de récolte. Des études sur les cultures associées de blé et de légumineuses (Banik et al., 2006; Justes et al., 2009) montent que la compétition peut être favorable à la fixation symbiotique de l'azote. Mais qu'en est-il avec des arbres ?

Pour la première année d'expérimentation avec des cultures intercalaires légumineuses, nous avons semé, dans la parcelle A2, de petites parcelles de pois chiche de la variété « Roy René », alors que, dans le même temps, M. Breton cultivait 2 parcelles (B16 et B17) en pois chiche semence, de la variété 'Twist'.

Le pois chiche (*Cicer arietinum* L.) est la deuxième légumineuse au monde en surface et la troisième en tonnage après le haricot et le pois.

En région méditerranéenne, le pois chiche peut être semé à l'automne ou au printemps. Le rendement des cultures de printemps est souvent limité par le déficit hydrique marqué à partir de la floraison. En effet, les plantes cultivées en hiver sont mieux implantées quand survient le déficit hydrique de fin de printemps (Singh, 1990).

Les surfaces cultivées en France sont très variables (Figure 1). Jusqu'en 2001, la culture se faisait essentiellement dans le Sud-Ouest, mais elle se développe dans le Languedoc-Roussillon. En effet, le pois chiche est bien acclimaté au Sud de la France, il est originaire du bassin méditerranéen. La culture valorise les sols secs et elle est excellente en rotation, notamment en 3ème année après un blé dur. Il est, par contre, sensible aux excès d'eau.

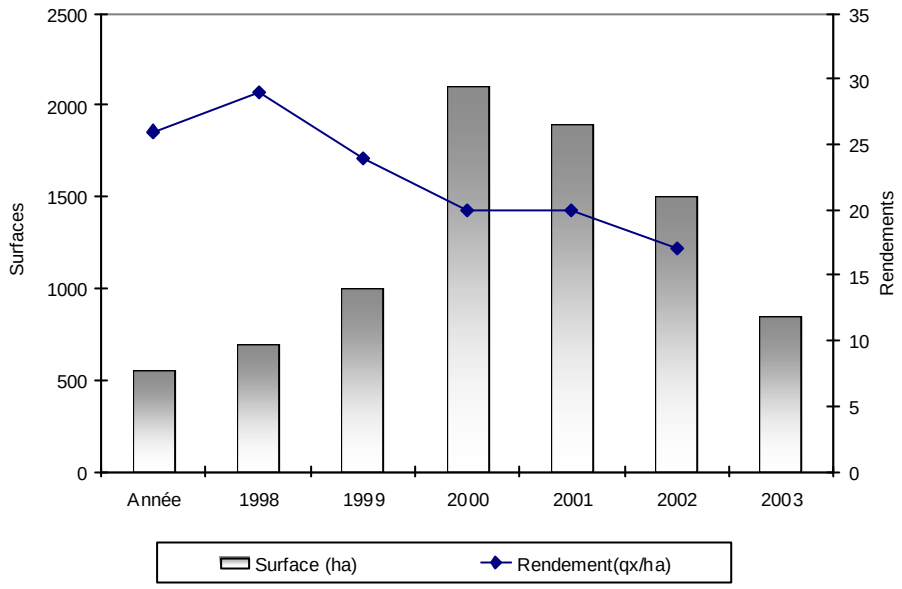


Figure 1 : Evolution des surfaces et des rendements de pois chiche en France entre 1998 et 2004 (Source UNIP et Centre de Transfert)

Matériels et méthodes

Notre expérimentation s'est déroulée dans la parcelle A2 qui était cultivée en blé (variété Claudio, semée le 19/11/09) cette année. L'objectif était d'une part

d'observer l'influence des arbres, en particulier celle de leur ombre, sur la croissance et le rendement du pois chiche, d'autre part de tenter d'expliquer ces observations.

Matériel végétal

La variété de pois chiche utilisée est 'Roy René'.C'est une lignée qui provient de l'ICARDA (Centre International de Recherche Agronomique pour les Zones Arides), station d'Alep, en Syrie et qui a été sélectionnée par le Groupement de Développement Agricole de la Région de Brignoles (83) en collaboration avec l'INRA / Montpellier Supagro.

Cette lignée est tolérante au froid et très résistante à la sécheresse. Par contre, elle présente une germination lente et une faible vigueur végétative entraînant un recouvrement lent du sol qui favorise le développement des adventices. La plante produit des petits grains (PMG ≈ 270 g) (Castaing, 2009, communication personnelle).

Dispositif expérimental

Nous avons implanté et suivi 6 parcelles (3 traitements comportant chacun 2 répétitions) :

- 2 parcelles agroforestières de 4 m × 10 m. Dans chaque parcelle, nous avons repéré 6 placettes d'1 m² réparties selon 3 transects Nord –Sud (Figure 2).
- 2 parcelles dans le témoin agricole, de 5 m × 8 m. Dans chacune, nous avons repéré 4 parcelles d'1 m² (Figure 2).
- 2 parcelles sous ombrage artificiel produit par des canisses disposées sur des structures métalliques à 1,50 m de haut et sur un diamètre de 4,40 m, dans le témoin agricole (Photo 2). Sous chaque ombrière, nous avons repéré, au Nord (pour avoir une ombre maximale) 2 placettes d'1m² (Figure 2).

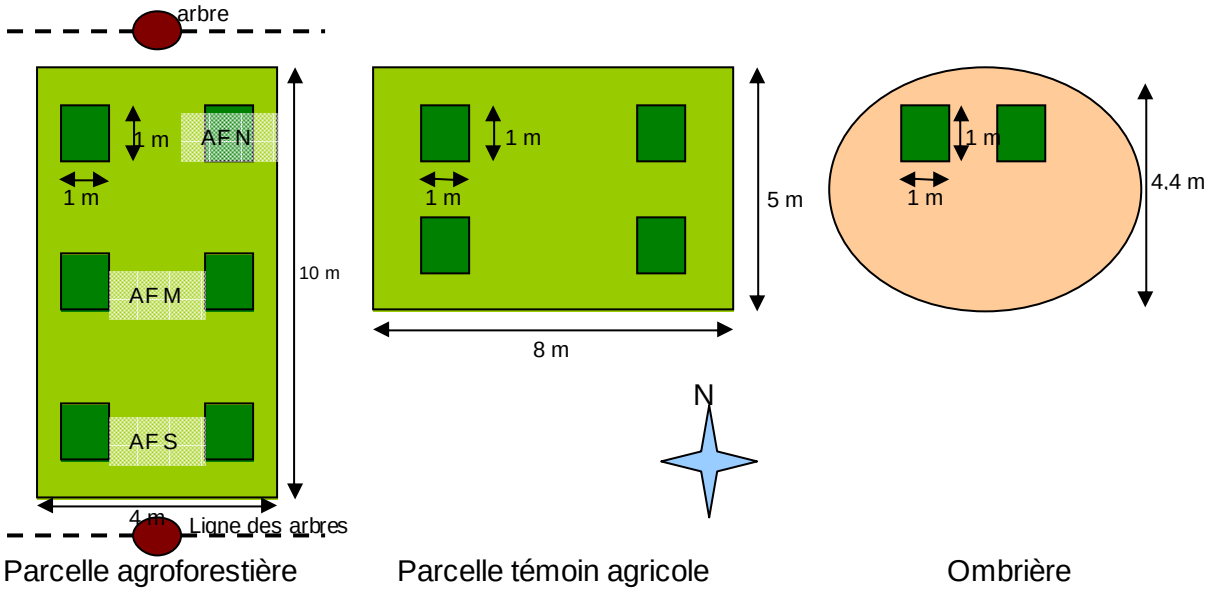


Figure 2 : Représentation schématique des différentes parcelles avec leurs placettes

Photo 2 : Ombrière au dessus d'une parcelle de pois chiche (cliché du 27/03/09)

Conduite de l'essai

Un premier semis de pois chiche a été réalisé le 21/11/09, à la main. Mais, du fait des conditions météo et/ou de la qualité des semences, ce semis a eu un très faible taux de levée . Nous avons donc décidé de faire un semis de printemps, le 19/02/09, avec des cannes à semer (Photo 1). L'essai a porté sur ce deuxième semis. La préparation du sol, qui a servi également à détruire le blé, s'est faite au motoculteur.

Tableau 2 : Suivi cultural et expérimental du pois chiche de printemps.

Date	Itinéraire technique	Travaux expérimentaux
19/02/09	Semis B 16 et B17 (M. Breton)	Préparation du sol et semis parcelles
03/03/09		Installation des ombrières et des capteurs
10/03/09		Prélèvement de sol (N et gravimètrie)
24/03/09		Photos hémisphériques
27/03/09		Comptage des plants levés et prélèvement de sol (gravimètrie)
16/04/09		* Nouveau comptage des plants * Estimation du taux de couverture (photos) * Prélèvement de plantes (biomasse et LAI) * Prélèvement de sol(gravimètrie)
28/04/09		Installation des « cotton-wick » (voir ci-après)
20/05/09	Traitement fongicide : Tabou (m.a. : tébuconazole) 1 l/ha (H. Breton)	* Estimation du taux de couverture (photos) * Prélèvement de plantes (biomasse et LAI) * Prélèvement de sol(gravimètrie)
10/06/09		Prélèvement de plantes (blé et pois chiche) pour la mesure de l'abondance naturelle en ^{15}N
11/06/09		Démontage des cotton-wick
23/06/09		* Photos hémisphériques * Mesures de températures de couvert
07/07/09	Récolte dans les placettes (graines et parties aériennes) et l'ensemble des parcelles (graines)	Récolte des parties aériennes des cotton-wick
10/07/09		Prélèvement du sol des cotton-wick
16/07/09	Récolte de placettes dans la parcelle B17	
27/07/09	Moisson de la parcelle B17 (H. Breton)	Prélèvement de sol (N)
29/07/09		Photos hémisphériques (A2 et B17)

La densité de semis était de 50 plants/m² (25 cm entre les rangs, 8 cm sur le rang), à une profondeur de 5 cm. Le désherbage a été effectué manuellement et nous avons protégé les parcelles avec des bâche lorsque l'agriculteur a fertilisé et désherbé chimiquement le blé.

Les principales opérations culturales et expérimentales sont résumées dans le Tableau 2.

Mesures réalisées

Mesures sur les plantes

- Nombre réel de plantes levées dans les placettes d'1 m². La germination de la variété 'Roy René' étant lente, nous avons fait deux comptages (27/03 et 16/04).
- Biomasse et surface foliaire. Etant donnée la petite taille de nos parcelle, nous avons essayé de mettre au point une méthode non destructive de mesure de la surface foliaire :

1. prise de photos, vues du dessus, de toutes les placettes de 1 m² (deux photos par placettes, ½ m² par photos) et de placettes supplémentaires d'1/2 m² (1 dans chaque traitement, hors placette). Les photos ont été prises avec un pied, l'objectif était à 95 cm du sol
2. prélèvement de plantes sur le 1/2 m² photographié dans chaque traitement. La surface foliaire de ces plantes est mesurée au laboratoire, à l'aide d'un planimètre (CID, Inc – CI-202 Area Meter). Puis les plantes sont séchées à l'étuves à 60°C pendant 2 jours, et pesées.
3. les photos étaient ensuite analysées avec le logiciel libre Image J (http://rsbweb.nih.gov/ij/) et nous avons calculé la corrélation entre la surface foliaire mesurée au planimètre et les résultats de l'analyse d'images.

- Mesures à la récolte. Le 07/07/09, nous avons récolté les parties aériennes des placettes pour lesquelles nous avons pesé les grains et la biomasse aérienne (séchés à l'étuve à 60°C pendant 48 h) et les grains de l'ensemble des parcelles. Nous avons aussi estimé les poids de 1000 grains.

Le 16/07/09 nous avons récolté les parties aériennes et compté les plantes de 12 placettes agroforestières et 8 placettes en plein soleil dans la parcelle B 17 (variété 'Twiwt'). Au labo, nous avons séparé les grains, fait séché tous les échantillons à l'étuve à 60°C pendant 48 h et pesé les biomasses et les poids de grains.

Evaluation de la fixation symbiotique de l'azote et de la rhizodéposition (en cours, résultats prévus pour automne 2009). La rhizodéposition est la libération de composés organiques par les racines. L'objectif de cette expérimentation était de quantifier l'azote rhizodéposé par une culture de pois chiche

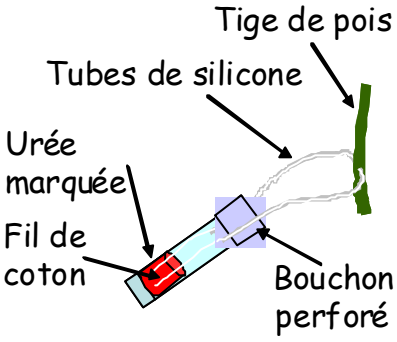
Pour quantifier l'azote rhizodéposé, il est possible d'utiliser la méthode « cotton-wick » (Mahieu et al., 2007). Le principe de cette méthode est d'incorporer au cours du cycle par voie xylémique une quantité suffisante d'urée enrichie en azote marqué ^{15}N. En admettant que l'enrichissement en ^{15}N et la teneur en azote des racines récupérées soient représentatifs des composés rhizodéposés, il est possible d'estimer la contribution azotée du système racinaire en mesurant l'enrichissement en ^{15}N de l'azote organique labile et de l'azote minéral du sol et de suivre le transfert des composés marqués dans les différentes fractions du sol. Cette technique présente l'avantage de pouvoir s'appliquer *in situ* sans altération importante du fonctionnement de la plante. Pour avoir une mesure représentative de l'azote rhizodéposé par la culture en plein champ, sachant qu'on ne connaît pas l'effet densité, la taille des placettes expérimentales devra être calculée de façon à respecter la densité de semis. Chaque placette sera délimitée par 4 plaques en plexiglass enfoncées dans le sol jusqu'à 30 cm de profondeur pour éviter la dilution de l'enrichissement en ^{15}N de l'azote rhizodéposé.

Les placettes de 3 plantes ont été isolées par les plaques de plexiglass (30 cm × 30 cm × 2,5 cm d'épaisseur) le 08/04/09, à raison de 4 placettes dans chacune des parcelles témoin agricole (Photo 3) et dans chacune des parcelles agroforestières. Pour chaque parcelle, 2 placettes servaient de témoin non marqués, 2 placettes ont été équipées de cotton wick le 28/04/09. La technique d'installation des cotton wick est représentée dans la Figure 3.

Dans les tubes, nous avons mis, chaque semaine, du 13/05/09 au 20/05/09, 0,5 ml d'urée marquée au ^{15}N dans chaque tube (Photo 3).

Photo 3 : Dispositif cotton wick : à gauche les 4 placettes d'un témoin agricole, délimité par les plaques de plexiglass ; à droite remplissage des tubes

Figure 3 : Représentation schématique d'un cotton wick



Les plantes et le sol entourant la plante du milieu de chaque placette cotton wick et témoin ont été récoltés au moment de la récolte des parcelles (méthode d'échantillonnage décrite dans la Figure 4). Nous avons aussi ramassé les feuilles mortes qui étaient tombées, nous avions installé des filets de 30 cm de haut autour des plexiglass pour éviter la dissémination des feuilles sèches (Photo 5).

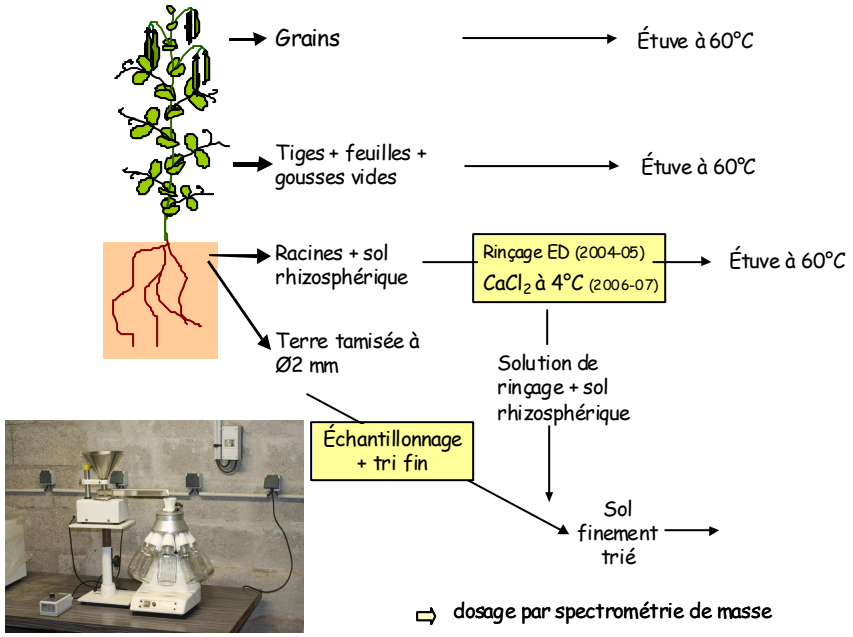


Figure 4 : Collecte et échantillonnage du sol et des plantes (racines et parties aériennes)

Pour établir le bilan azoté, nous avons également fait des mesures de fixation par la méthode de l'abondance naturelle du ^{15}N. Le 10 juin, nous avons prélevé ¼ de m² de pois chiche et ¼ de m² de blé par parcelle (2 fois ¼ de m² en témoin agricole, 2 fois ¼ de m² en agroforesterie). Les analyses de ^{15}N nous permettrons de connaître la part d'azote des pois chiche provenant de la fixation symbiotique car la teneur en ^{15}N de l'azote atmosphérique est différente de celle du sol. Le blé sert de témoin non fixateur.
Le 10/06/09, nous avons aussi prélevé les racines des plantes qui servaient pour la mesure de l'abondance naturelle, plus 3 plantes dans chaque ombrière pour mesurer la masse sèche des nodosités dans chaque traitement. Nous avons aussi pesé la biomasse aérienne de toutes les plantes prélevées.

Mesures concernant le sol

- Teneur en eau par gravimétrie : les prélèvements ont été faits à la tarière à deux profondeurs 0-20 cm et 20-40 cm, à proximité des placettes de pois chiches, soit 6 impacts dans l'agroforesterie, 4 dans le témoin agricole et 2 sous les ombrières. Les échantillons, placés dans des boîtes à humidité, sont pesés frais, puis après séchage à l'étuve à 103 °C pendant 48 h. On calcule ainsi l'humidité pondérale du sol.
- Teneur en azote : Les premiers et derniers prélèvements ont servis aussi à collecter des échantillons pour le dosage de l'azote minéral. Les analyses sont en cours .

Mesures du climat

- Capteurs météorologiques. Dans le Tableau 3 : Liste des capteurs installés dans les différentes parcelles figurent les différents capteurs installés dans l'essai. Ces capteurs étaient reliés à des centrales d'acquisition de données (CR 1000 et CR 10 – Campbell Scientific). Les centrales faisaient une moyenne horaire des données qu'elles enregistraient (temps de scrutation : 2 secondes).

  Enfin, la station météo située dans la parcelle A3 enregistrait en continu la pluviométrie, le rayonnement global, la température de l'air.

Tableau 3 : Liste des capteurs installés dans les différentes parcelles

Traitement	Capteurs	Observations
Ombrière Ouest	2 capteurs de PAR	au Nord de l'ombrière
	2 thermistances	mesures de t° du sol profondeurs 10 et 30cm
Agroforesterie parcelle ouest entre les arbres G-62 et H-62	2 capteurs de PAR	2 m au sud de l'arbre G-62
	2 capteurs de PAR	6 m au sud de l'arbre G-62
	2 capteurs de PAR	10 m au sud de l'arbre G-62
	2 thermistances	mesures de t° du sol profondeurs 10 et 30cm
	1HMP	mesures de t° de l'air et hygrométrie
	1 anémomètre – girouette	mesures de vitesse et direction du vent
Témoin agricole parcelle ouest	2 capteurs de PAR	
	2 thermistances	mesures de t° du sol profondeurs 10 et 30cm
	1HMP	mesures de t° de l'air et hygrométrie
	1 anémomètre – girouette	mesures de vitesse et direction du vent

- Température du couvert par thermomètrie infra-rouge. Cette mesure a été réalisée le 23/06/09, jour ensoleillé mais venté, toutes les heures de 6 h 30 à 18 h 30. Le thermomètre (Thi-300 Tasco Japan ltd) était placé sur un support au Nord de chaque placette successivement. La visée se faisait vers le Sud avec un angle de 45° (Photo 4).

Photo 4 : Mesure au thermomètre infra-rouge sur une des placettes situées prés d'un arbre, au Nord, dans une parcelle agroforestière.

- Photos hémisphériques prises à l'emplacement des placettes agroforestières à la levée, au début du remplissage des grains et à la récolte (également sur les placettes de la parcelle B17 à cette date). Les photos ont été traitées avec le logiciel GLA (Simon Fraser University – Canada - http://www.rem.sfu.ca/forestry/index.htm), qui permet de calculer le pourcentage de rayonnement transmis aux plantes.

Résultats

Le climat du début de l'année 2009 a été marqué par des précipitations importantes, surtout en février et avril (Figure 5). Par contre, les mois de mai, juin et juillet ont été particulièrement secs. Globalement, dans la période de janvier à juin, il est tombé 439 mm en 2009, la moyenne entre 1990 et 2009 étant de305 mm.

Les températures mensuelles moyennes de 2009 sont très proches des statistiques.

La période de croissance végétative de nos pois chiche a donc été humide, et pas trop chaude. Par contre, à partir de mai (début de la floraison le 25 mai), les pluies ont été inexistantes.

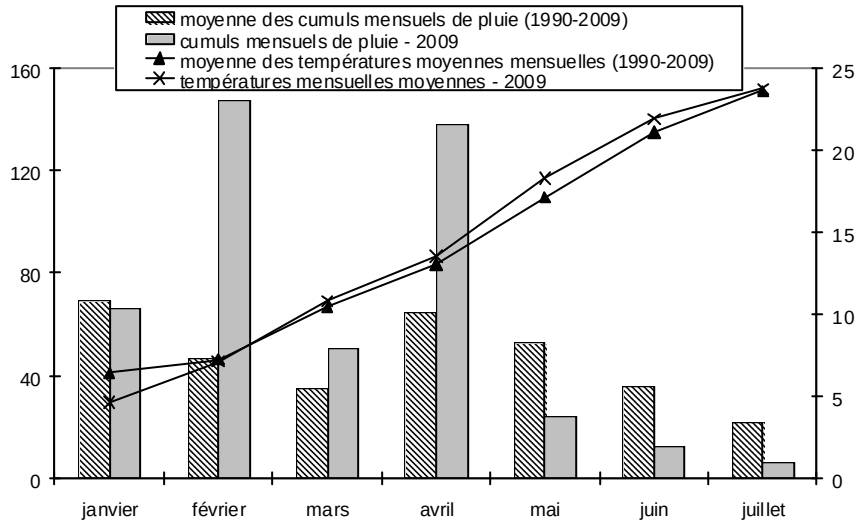
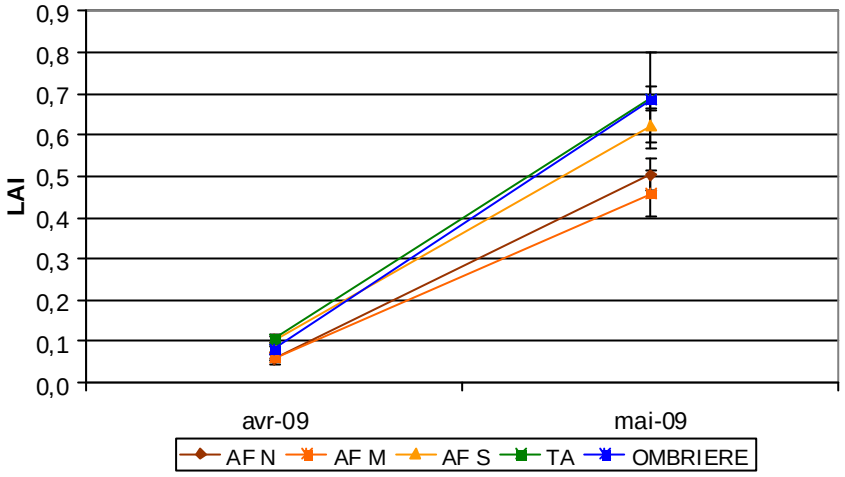


Figure 5 : Pluviométrie et températures moyennes du début 2009 comparées aux statistiques de la période 1990-2009 (station Météo-France de Lavalette)

Croissance végétative

Surface foliaire

Figure 6: Estimation des LAI à deux dates pour les différents traitements par l'analyse de



photos (les barres d'erreurs représentent les erreurs-standards. AF N = placette la plus au Nord de la parcelle agroforestière ; AF M = placette au milieu de la parcelle agroforestière, AF S = placette la plus au Sud (Figure 2)

La Figure 6 montre une surface foliaire estimée supérieure dans le cas de l'AF S par rapport à l'AF N et AF M. On peut penser que la surface foliaire est plus importante parce que les plantes sont moins exposées au rayonnement et, pour assurer un niveau de photosynthèse suffisant, les plantes doivent capter plus de lumière, en augmentant la surface des capteurs : les feuilles. Il en est de même pour les plantes de l'ombrière. Par contre, le fait que la surface foliaire du témoin agricole soit identique à celle de l'AF S ne confirme pas cette hypothèse. Ceci peut-être dû à l'incertitude liée à la méthode et aussi à la densité de plantes plus élevée dans le témoin agricole qui provoque cette différence (Figure 8).

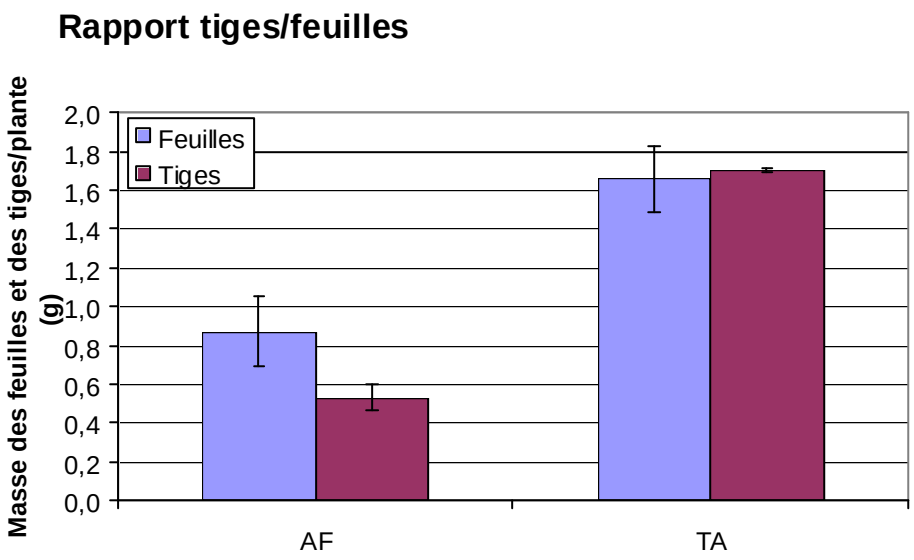


Figure 7: Masse des feuilles et des tiges par plante dans le TA et l'AF, au milieu des parcelles. Prélèvements du 19/05/09 (barres d'erreur = erreurs-standards).

Le débourrement des arbres a commencé début mai, le 7 mai, tous les arbres avaient débourré. Donc, le 19 mai, l'ombre des arbres ne peut pas avoir une grande influence sur la culture. Or la Figure 7 montre une croissance en biomasse dans l'agroforesterie sensiblement plus faible que dans le témoin agricole. On peut éventuellement l'attribuer à des interactions souterraines ou à des phénomènes d'allélopathie liés aux feuilles mortes des arbres. On observe que sur le témoin agricole le poids des feuilles et des tiges est similaire, cependant dans l'agroforesterie on peut voir que le poids des feuilles est plus élevé que le poids des tiges. Le rapport Feuilles/Tiges est de 1,62 ± 0,12 en agroforesterie, 0,98 ± 0,10 en témoin agricole. Or (Lemaire et al., 2005) montrent que, du fait de la compétition pour la lumière, en peuplement dense de luzerne, le ratio Feuilles/Tiges diminue. Nous observons l'effet inverse.

Elaboration du rendement sous les différents traitements

Densité de levée

La densité de levée a été mesurée à 2 dates différentes car la période de levée est étalée.

On peut observer que la densité de plantes levées par m² est significativement inférieure (maximum 34) à la densité de semis (50). Nous n'avons pas fait de test de germination préalable pour vérifier la qualité des semences et les conditions climatiques n'ont pas été très favorables à la levée.

La Figure 8 montre qu'il y a une grande différence entre le nombre de plantes levées en le TA et l'AF (33 et 25 respectivement). Cette différence se retrouve aux deux dates de mesure.

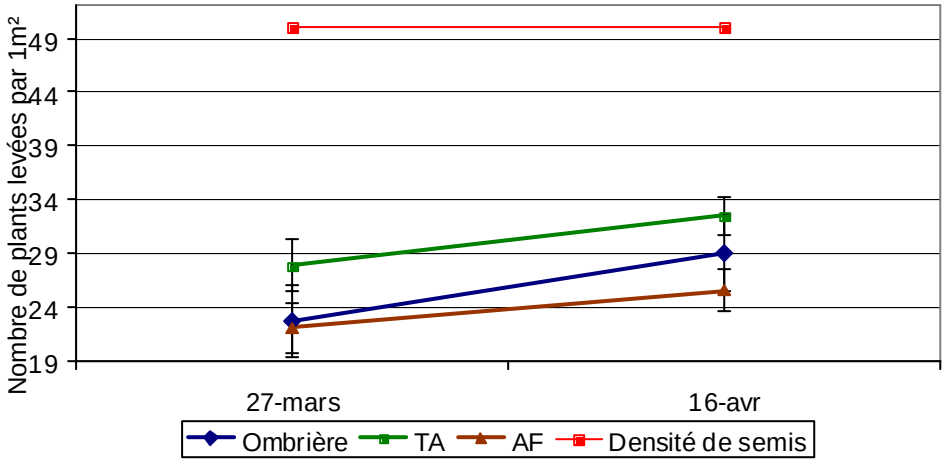


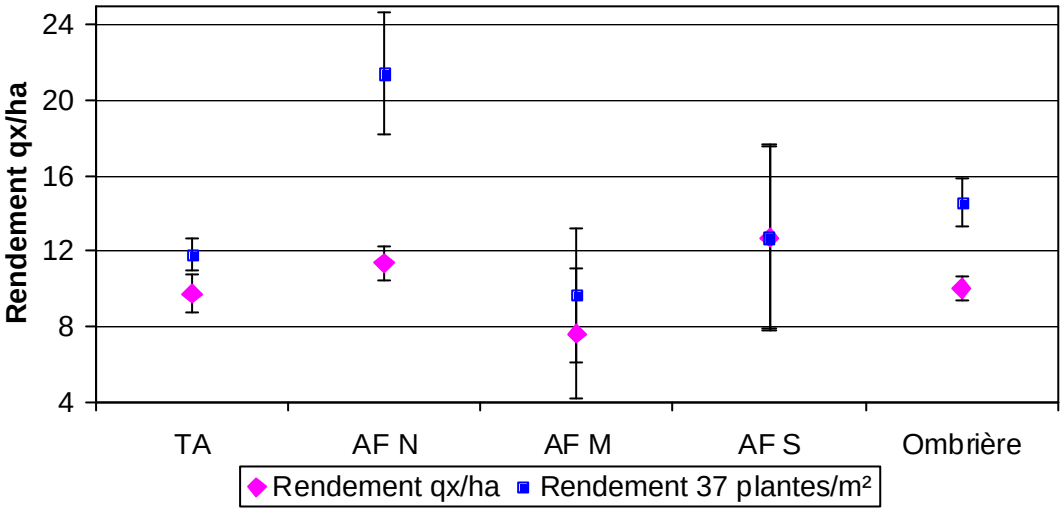
Figure 8: Evolution du nombre de plantes levées dans les placettes de 1m² des différents traitements, comparaison avec le nombre de graines semées

Dans le cas de l'ombrière, le nombre de plantes levées est proche de celui de l'AF le 27 mars, mais le 16 avril il se situe entre l'AF et le TA.

La germination est plus élevée dans l'ombrière par rapport à l'AF. On peut faire l'hypothèse que dans les ombrières, l'exposition au rayonnement solaire étant moins élevée, l'évaporation du sol diminue, ce qui favoriserait la germination.

Rendement en grains

Figure 9 : Rendement du pois chiche dans les placettes des différent traitements et hypothèses de rendement avec 37 plantes/m²



Dans la Figure 9, le rendement 37 plantes, est le rendement qu'on aurait obtenu si on avait eu 37 plants/m² (maximum de plantes levées observé dans les placettes). Le rendement réel n'est pas significativement différent entre les traitements. Mais, si la levée avait effectivement été de 37 plantes/m² dans la placette concernée partout, le rendement en AF N, partie la plus éclairée de l'agroforesterie, aurait été plus élevé que dans les autres traitements.
Le rendement des placettes a été fortement réduit par les dégâts causés par les sangliers (Photo 1).

Photo 5 : Placette de pois chiche abîmée par les sangliers (les filets blancs servent à isoler les plantes portant les cotton-wick)

Indice de récolte

L'indice de récolte est le rapport de la masse de grains produits par les plantes sur leur biomasse totale. Plus il est élevé, plus la plante a « investi » dans la production de grains.

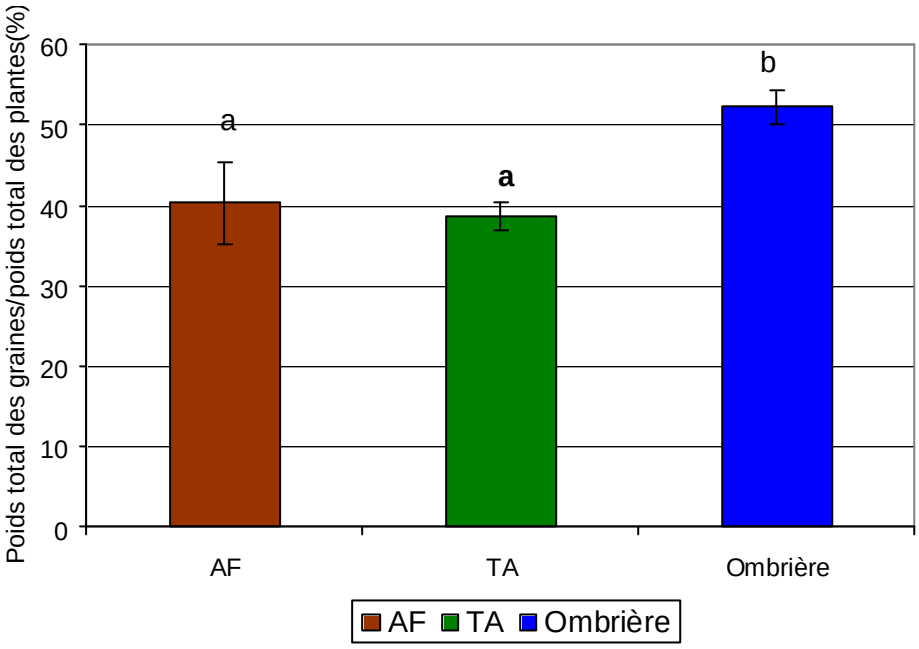


Figure 10 : Indice de récolte entre les différents traitements, en pourcentage (les lettres différentes indiquent les différences significatives au seuil 5%)

L'indice de récolte est significativement plus élevé sous l'ombrière que dans le témoin agricole et, dans une moindre mesure, dans l'agroforesterie (Figure 10). Ceci peut s'expliquer par le fait qu'à l'ombre, il y a plus de temps pour la croissance des plantes (qui achèvent ainsi leur croissance plus tard), le nombre de fleurs produites est plus élevé et le remplissage des grains dure plus longtemps.

Poids de 100 grains

Dans la Figure 11, il apparaît que le poids de 100 grains est significativement plus faible à l'ombre qu'en plein soleil. L'accroissement de l'indice de récolte observé à l'ombre ci-dessus

n'est donc pas lié à un meilleur remplissage des grains, mais à un nombre plus élevé de grains par unité de surface. Or le nombre de plants est plus faible dans les traitements ombragés (Figure 8) , c'est donc le nombre de grains par plante qui augmente.

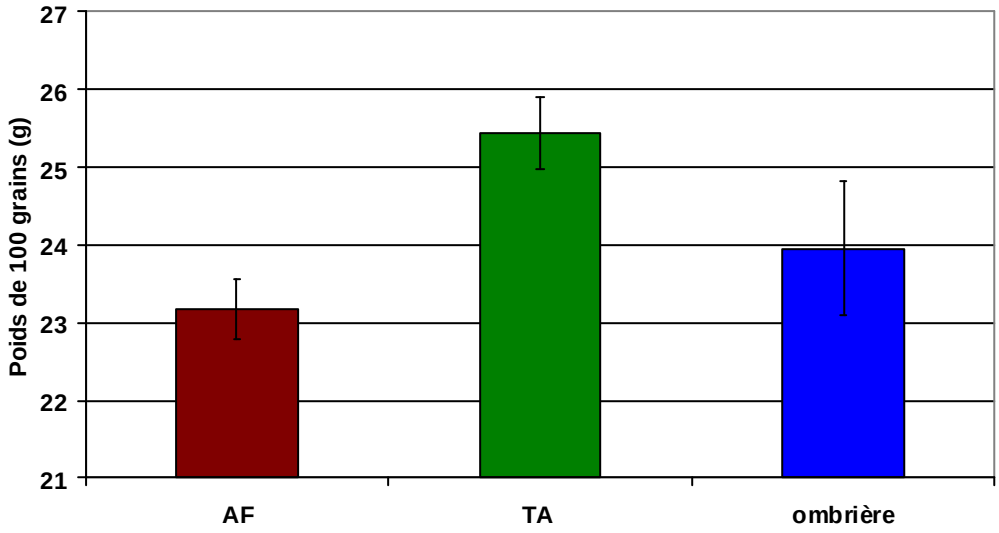


Figure 11 : Poids de 100 grains dans les différents traitements

Facteurs explicatifs des différences observées

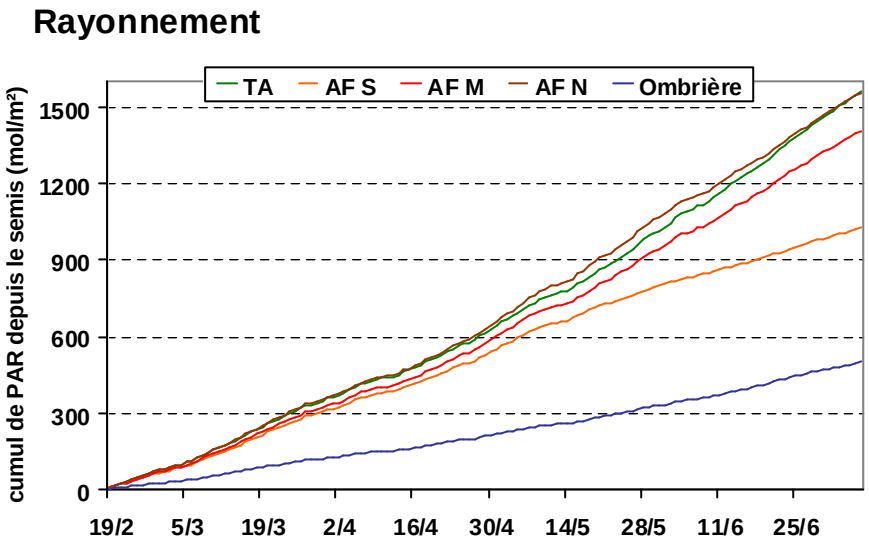


Figure 12 : Rayonnement reçu par les pois chiche dans les différents traitements, pendant le cycle de culture, données des capteurs

Le rayonnement dans la placette agroforesterie Nord est bien équivalent à celui en plein soleil (Figure 12), et on a : **TA = AFN > AF M > AF S > ombriére**

La diminution de rayonnement calculée est de 10 % pour AF M, 34 % pour AF S et 78% pour l'ombrière. Cependant, le cycle du pois chiche étant théoriquement rallongé à l'ombre, si on rajoute une semaine de croissance dans l'AF S, le cumul du PAR résultant est égal à celui du TA. Le pois chiche étant une plante à croissance indéterminée, pendant cette semaine « fictive », il y aurait encore des feuilles photosynthétiquement active, même si elles sont peu nombreuses.

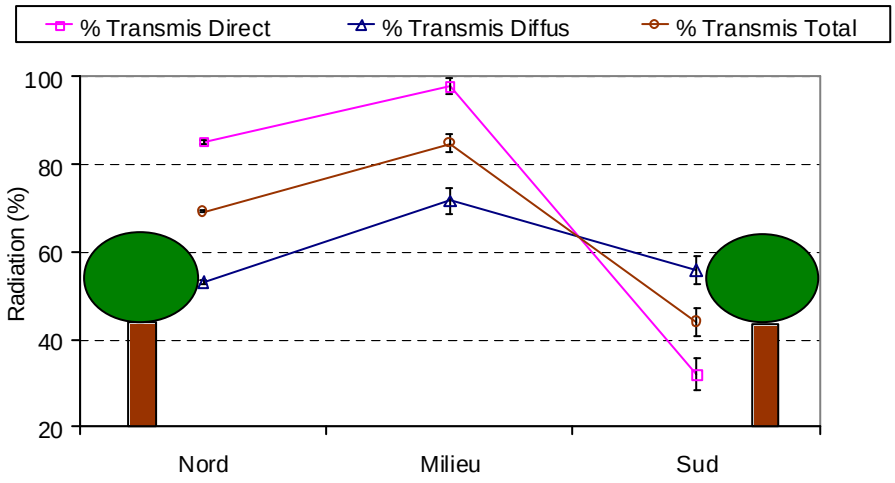


Figure 13 : Rayonnement transmis aux placettes agroforestières le 23 juin, calculé à partir des photos hémisphériques

Les photos hémisphériques (Figure 13) ne donnent pas tout à fait le même résultat que les capteur, le rayonnement transmis étant plus élevé au milieu qu'au Nord de la parcelle agroforestière. Cependant, sur la Figure 12, on constate que la différence entre AF et AF M se fait au début du cycle, au mois de juin, l'écart reste constant.

Les photos hémisphériques montrent également que la baisse de rayonnement au Sud est principalement liée à l'interception du rayonnement direct par les arbres.

Température de feuilles du pois chiche

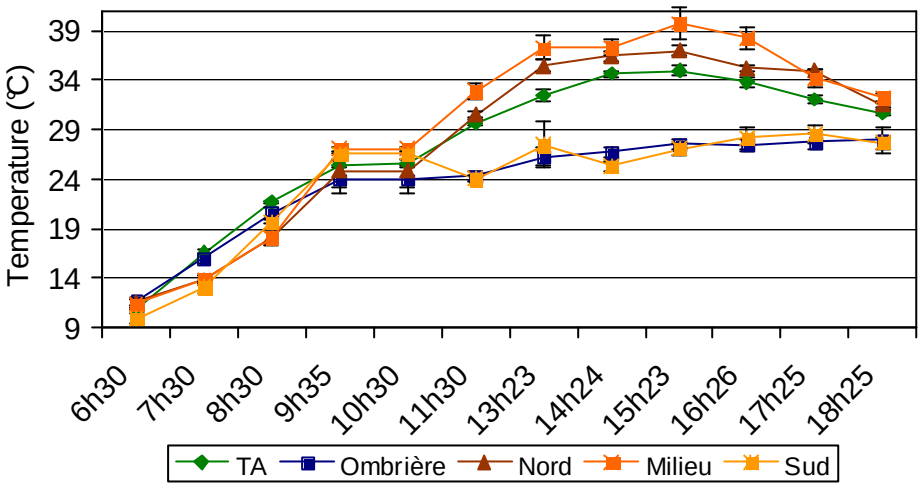


Figure 14 : Température du couvert végétal sur une journée, mesurée à l'aide d'un thermomètre infrarouge, sur les différents traitements.

La Figure 14 représente les valeurs moyennes des températures du couvert végétal dans les différents traitements (TA, AF N, AF M, AF S et Ombrière) au cours de la journée du 23 juin 2009. Nous avons choisie une journée très ensoleillée, mais il s'est trouvé qu'elle a aussi été ventée. D'une part, les températures en AF tant à 6 m comme à 2 m de la ligne Nord d'arbres sont plus élevées que les températures en TA. Ces résultats sont étonnants et peuvent être expliqués par le vent : les pois chiches en AF sont protégés par les arbres et la température pourrait s'en trouver augmentée par rapport au TA.

D'autre part, on s'attend à des températures similaires pour les plantes sous l'ombrière et celles à 10 m au Sud de la ligne d'arbres, puisqu'il s'agit des 2 emplacements à l'ombre. Ceci est confirmé par les mesures.

Enfin, comme on pouvait le supposer, il n'y a pas de différence de température au lever du jour entre tous les traitements, mais la différence est plus élevée à partir de 11 heures du

matin, en raison du rayonnement solaire direct. Cette différence s'amenuise à partir de 18 h30.

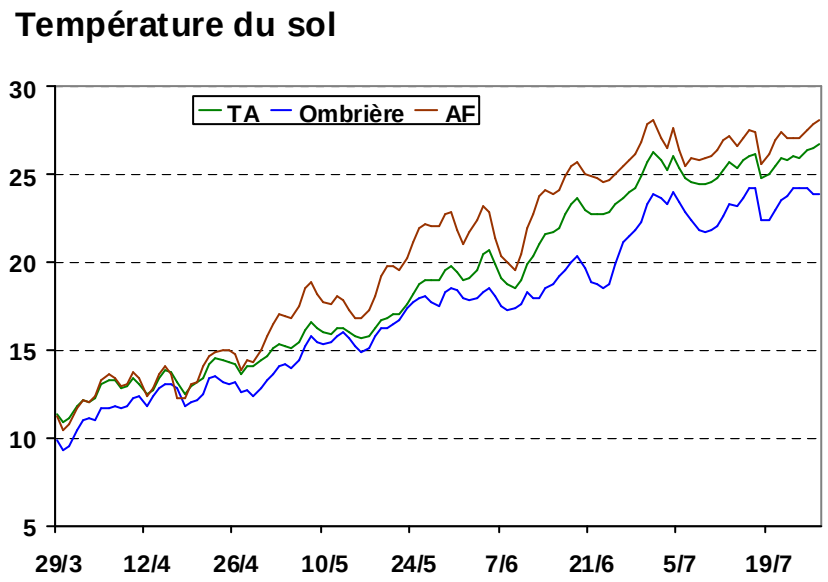


Figure 15 : Températures mesurées à 30 cm de profondeur dans le sol tout au long du cycle de culture

Dans la Figure 15 on observe que la température du sol en AF est plus élevée celles mesurées en TA et sous l'ombrière. Il faut préciser cependant que dans l'agroforesterie, les thermistances étaient installées du côté Nord de la parcelle, soit le plus au soleil. La température du sol peut être classée dans le même ordre que la température du couvert, l'écart entre AFN et TA pouvant être dû à une protection des arbres contre le vent.

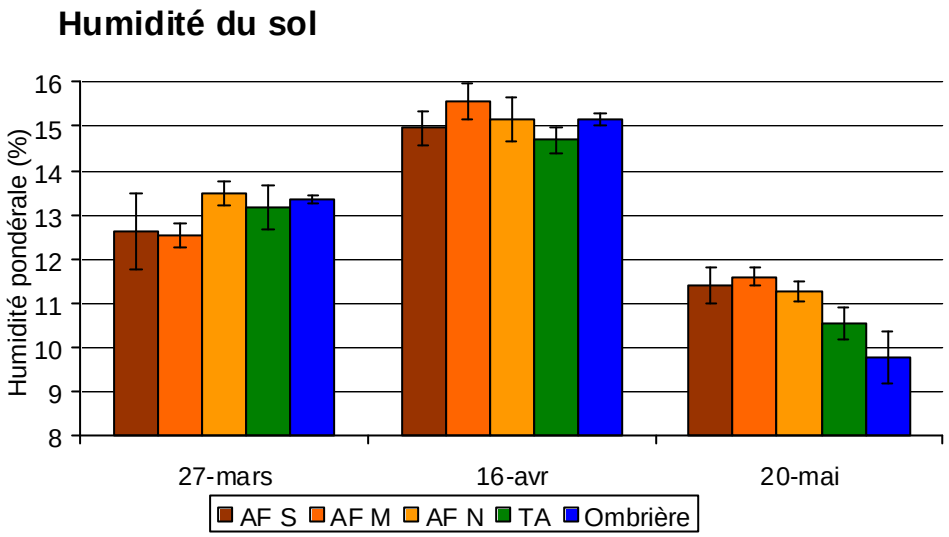


Figure 16 : Humidité pondérale du sol entre 20 et 40 cm de profondeur

La Figure 16 montre qu'il n'y a pas une grande différence d'humidité pondérale entre le TA et l'AF aux trois dates de prélèvement. Mais on peut observer qu'il existe une différence significative entre l'AF et l'ombrière le 20 mai. Cette différence peut être liée au fait que dans l'ombrière les plantes se sont développées plus tardivement. Le LAI (Figure 6) et le nombre de plants (Figure 8) étant plus élevé sous l'ombrière que dans l'AF, la transpiration est plus importante.

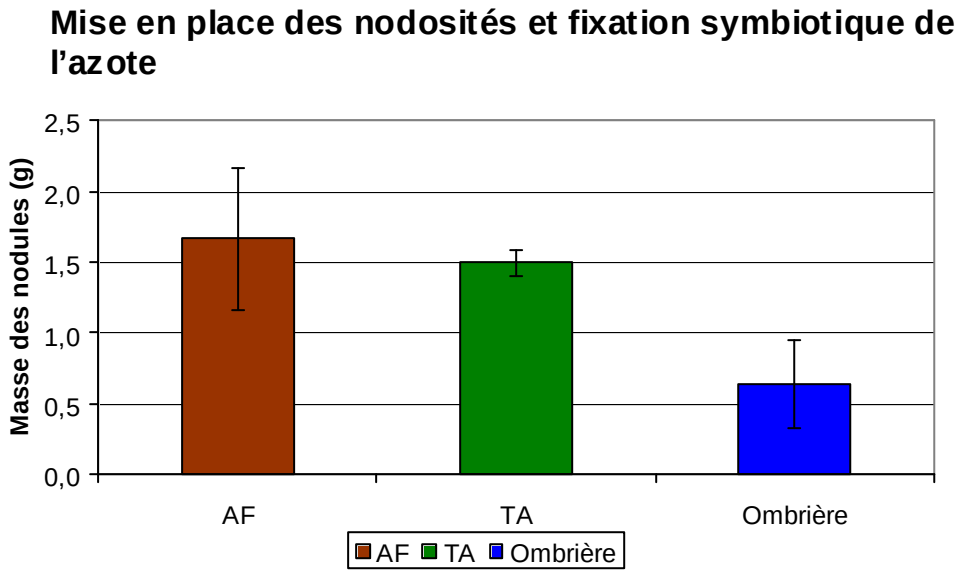


Figure 17 : Masse sèche de nodules pour ¼ de m². La date de prélèvement était le 10/06 soit au maximum présumé de développement des nodules.

On peut voir sur la Figure 17 qu'il n'y pas de différence significative de masse de nodules entre AF et TA, mais dans le cas de l'ombrière, le poids de nodules est vraiment plus faible. Par ailleurs, il est à noter que les échantillons de l'AF ont été prélevés au milieu de la parcelle c'est à dire dans un endroit ensoleillé, donc ayant peu de différence avec le témoin agricole.
S'il n'y a pas de différence de masse entre l'AF et le TA, nous avons observé, sans la quantifier, une différence d'apparence : en AF, les nodules semblent être plus regroupés qu'en TA (Photo 6). Dans l'ombrière le nombre de nodules par racine est très faible et ils sont petits.

Photo 6 : Détail de nodules dans les racines du pois chiche dans les parcelles AF et TA

La présence de gros amas de nodules près du collet traduit une installation très rapide des nodosités (Laguerre G. 2009, communication personnelle). Cette observation mériterait cependant d'être confirmée par des mesures, avec en particulier des prélèvement dans la partie Sud de l'agroforesterie.

Discussion

Effet de l'ombre

Photo 7 : Effet de l'ombre de grands platanes sur la culture de pois chiche dans la parcelle B16 en juin

On a pu constater que l'effet ombre des arbres est très important sur le pois chiche et son environnement : température du sol, température des feuilles, surface foliaire et humidité du sol. Un autre effet de l'ombre est le remplissage des grains plus tardif et le fait que les plantes restent vertes plus longtemps (Photo 7).

Cependant, les effets sur le rendement ne sont pas très clairs. Si on homogénéise le nombre de plants par m², le partie Nord de l'agroforesterie, qui a les températures de sol et de couvert, et le rayonnement les plus élevés, a aussi le meilleur rendement. Cette influence positive des arbres, peut-être lié à un effet brise-vent, reste à confirmer.

En prenant en compte le rendement calculé pour 37 plantes par m² dans toutes les placettes, et en considérant que la surface en agroforesterie se répartit de la façon suivante : 3/13 de jachère (ligne des arbres : le semis s'est fait sur 10 m de l'inter rang qui mesure 13 m), 3/13 d'AF N, 3/13 d'AF S et 4/13 d'AF M, on arrive à un rendement global de **10,85 t/h**a, contre **11,78 t/ha** en témoin agricole. Ceci correspond à une baisse relativement modeste du rendement : **8 %**.

Par contre ;, les mesures que nous avons faites dans la parcelle B 17 (agroforesterie avec des peupliers, plus grands et débourrant plus tôt), mettent en évidence des différences beaucoup plus importantes : TA = 26 ,17 t/ha

AF M = 17,80 t/ha

AF N = 16,52 t/ha

AF S = 12,75 t/ha

Soit, en appliquant la même pondération de surface, un rendement de **12,23 t/ha** en agroforesterie contre **26,17 t/ha** en témoin agricole. La perte de rendement est ici de **53 %**.

La petite taille des noyers et leur phénologie (débourrement tardif) favorisent donc la culture de pois chiche.

La durée du cycle

L'expérimentation montre que les plantes du pois chiche en plein soleil ont finalisé leur cycle de croissance avant les plantes à l'ombre d'arbres ou des ombrières artificielles. La croissance des plantes a été plus lente sous l'effet de l'ombre et elles ont couvert la surface du sol plus tard que les plantes en plein soleil. Par conséquent, les plantes à l'ombre ont fini leur floraison plus tard. Dans le TA, les plantes ont terminé leur floraison le 10 juin alors que dans l'AF (au Sud) et dans l'ombrière la floraison persistait jusqu'à la récolte.

La durée de la phase végétative avant la phase florifère a été beaucoup plus rapide dans le TA que dans le AF et les ombrières. Les plantes ont couvert plus rapidement la surface du sol entraînant une augmentation de l'humidité du sol et une diminution de la température a cette période d'où une éventuelle modification de la production des nodules.

Enfin, la culture de pois chiche d'hiver pourrait être plus favorable aux conditions agroforestières (Wery, communication personnelle – 2009). En effet, en avançant le cycle végétatif du pois chiche, on diminue sa sensibilité à la sécheresse estivale, on augmente les rendements (Singh, 1990) et on réduit l'influence des arbres.

Effet de la nutrition

La présence d'arbres augmente la compétition en éléments nutritifs dans la parcelle AF. En ce qui concerne la fixation d'azote, aucune différence significative n'a été observée sur la quantité de nodosité racinaire entre les plants. Les analyses complémentaires en cours : azote du sol, abondance naturelle et rhizodéposition, vont montrer si oui ou non le fonctionnement azoté de la plante est modifié par l'ombre des arbres.

Limites de l'expérience

Les résultats obtenus sur le terrain montrent une grande hétérogénéité à l'intérieur même des traitements.

Nous avons obtenu deux groupes de résultats pour le rendement des cultures: un groupe de résultats relatif à l'expérience dans les placettes et un autre groupe de résultats relatif à l'expérience dans les parcelles. Les résultats obtenus dans les placettes sont très hétérogènes alors que ceux obtenus dans les parcelles sont plus homogènes et plus proches des résultats attendus.

Les causes de ces hétérogénéités dans les placettes sont:

1. un test de germination aurait été nécessaire car le pourcentage de levée était faible.
2. la taille réduite des parcelles nous a empêché d'adapter les placettes des semis quand nous avons constaté les problèmes de levée.
3. des problèmes avec les sangliers : ces derniers ont en effet modifié, quand les grains étaient formés, le nombre de plantes par m² et mangé une partie des grains. Par conséquent, le rendement final a été modifié, particulièrement dans les placettes en AF M.
4. l'ombrière ouest est tombée à cause du vent dans les premiers jours d'expérimentation. Sa réparation a duré une journée et a occasionné un fort piétinement de la parcelle.
5. la méthode de marquage des fleurs a été peu efficace d'où l'absence du décompte d'une composante du rendement.
6. les deux répétitions (au lieu de trois) du traitement ombrière en raison des problèmes rencontrés au semis.

Conclusion

Pour l'année 2009 – 2010, nous aurons du pois chiche (semé par M. Breton) sur une ligne entière dans la parcelle A3, une ligne dans la A2 et une dans le témoin agricole de la A2. Nous pourrons donc faire un suivi sur des surfaces plus importantes, permettant de déplacer les placettes de suivi en cas de problème, lié aux sangliers par exemple.

Le reste des parcelles A2 et A3 sera semé en pois protéagineux, une légumineuse d'hiver. L'observation de la croissance et du développement de cette culture en parcelle agroforestière sera également très intéressante.

De plus, la collaboration avec le LSTM va se poursuivre avec Stéphanie Mahieu, Gisèle Laguerre et Brigitte Brunel. Le projet concernera notamment une étude de la microflore du sol : rhizobium, mycorhizes. Nous approfondirons également l'étude des nodosités, avec une dynamique temporelle et en fonction de l'emplacement par rapport aux arbres.

Bibliographie

Banik, P., Midya, A., Sarkar, B.K., and Ghose, S.S. 2006. Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. European Journal of Agronomy 24:325-332.

Ceccon, E. 2005. Eucalyptus agroforestry system for small farms: 2-year experiment with rice and beans in Minas Gerais, Brazil. New Forests 29:261-272.

Douglas, G.B., Walcroft, A.S., Hurst, S.E., Potter, J.F., Foote, A.G., Fung, L.E., Edwards, W.R.N., and Dijssel, C.V.D. 2006. Interactions between widely spaced young poplars (Populus spp.) and introduced pasture mixtures. Agroforestry Systems 66:165-178.

Dupraz, C., Simorte, V., Dauzat, M., Bertoni, G., Bernadac, A., and Masson, P. 1998. Growth and nitrogen status of young walnuts as affected by intercropped legumes in a Mediterranean climate. Agroforestry Systems 43:71-80.

Gadgil, R.L., Charlton, J.F.L., Sandberg, A.M., and Allen, P.J. 1986. Relative Growth and Persistence of Planted Legumes in a Mid-Rotation Radiata Pine Plantation. Forest Ecology and Management 14:113-124.

Grossman, J.M., Sheaffer, C., Wyse, D., Bucciarelli, B., Vance, C., and Graham, P.H. 2006. An assessment of nodulation and nitrogen fixation in inoculated Inga oerstediana, a nitrogen-fixing tree shading organically grown coffee in Chiapas, Mexico. Soil Biology & Biochemistry 38:769-784.

Justes, E., Bedoussac, L., and Prieur, L. 2009. Est-il possible d'améliorer le rendement et la teneur en protéines du blé en Agriculture Biologique au moyen de cultures intermédiaires ou de cultures associées ? Innovations Agronomiques 4:165-176.

Kass, D.C.L., Sylvester-Bradley, R., and Nygren, P. 1997. The role of nitrogen fixation and nutrient supply in some agroforestry systems of the Americas. Soil Biology & Biochemistry 29:775-785.

Knowles, R.L. 1991. New Zealand experience with silvopastoral systems: a review. Forest Ecology and Management 45:251-267.

Lemaire, G., Avice, J.C., Kim, T.H., and Ourry, A. 2005. Developmental changes in shoot N dynamics of lucerne (Medicago sativa L.) in relation to leaf growth dynamics as a function of plant density and hierarchical position within the canopy. Journal of Experimental Botany 56:935-943.

Mahieu, S., Fustec, J., Faure, M.L., Corre-Hellou, G., and Crozat, Y. 2007. Comparison of two 15N labelling methods for assessing nitrogen rhizodeposition of pea. Plant and Soil 295:193-205.

Puri, S., Kumar, A., and Singh, S. 1994. Productivity of Cicer-Arietinum (Chickpea) under a Prosopis-Cineraria Agroforestry System in the Arid Regions of India. Journal of Arid Environments 27:85-98.

Singh, G., Mutha, S., and Bala, N. 2007. Effect of tree density on productivity of a Prosopis cineraria agroforestry system in North Western India. Journal of Arid Environments 70:152-163.

Singh, K.B. 1990. Winter chickpea: problems and potential in the Mediterranean region, p. 25-34 Options Mediterraneennes. Serie A, Seminaires Mediterraneens.

Singh, P. 1991. Influence of water deficits on phenology, growth and dry matter allocation in chickpea (Cicer arietinum). Field Crops Research 28:1-15.

Singh, P., and Virmani, S.M. 1996. Modeling growth and yield of chickpea (Cicer arietinum L.). Field Crops Research 46:41-59.

Etude de l'impact des aménagements agroforestiers sur les coléoptères carabidae

Rapport d'activités PIRAT 2009

Agroof – Développement

Adresse :

AGROOF SARL

120 Impasse des 4 vents, Le poulverel

30140 ANDUZE

Ingénieurs impliqués :

Xavier HAMON

Tél : 04 66 56 85 47

Correspondant du projet :

Xavier HAMON

Email : liagre@agroof.net

Introduction

Contexte de l'étude

Les agriculteurs mettant en place des parcelles agroforestières s'intéressent de plus en plus à la préservation et l'augmentation de la biodiversité à l'échelle de leur champ et de la leur territoire d'exploitation et à travers elle à favoriser les habitats susceptibles d'abriter des auxiliaires de cultures. Comment mesurer la biodiversité à l'échelle d'une parcelle, d'un territoire d'exploitation ? La lutte biologique par conservation en agroforesterie pourrait-elle à terme réduire l'utilisation des moyens chimiques de régulation des populations de ravageurs ?

Cette problématique fait aussi partie des axes de recherche-développement du projet DAR 2009-2011 « Amélioration agroécologique des systèmes agroforestiers » financé par le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche. Ce réseau de partenaires permettra de valider l'approche scientifique et de comparer certains résultats de la première campagne de relevés.

Pourquoi les Coléoptères carabidae ?

Les carabes, coléoptères carabidae, sont à la fois d'excellents bio-indicateurs de la diversité biologique d'un milieu (certaines espèces sont rares ; forte réactivité aux changements d'un milieu) (Kromp 1999) et des prédateurs redoutables pour les insectes (pucerons, larves de taupin…) et les mollusques (limaces, escargots) dans le cas des carabes zoophages (Diwo Allain et Rougeon 2004).

L'hétérogénéité spatiale et temporelle des aménagements agroforestiers participe à une mosaïque paysagère utile pour la préservation et l'augmentation de la biodiversité en milieu agricole et particulièrement pour les arthropodes (Stamps and Linit 1998 ; Jose et al. 2004). D'autre part l'agroforesterie contribue à la connectivité des habitats (dispersés ou dégradés)

par la création de corridors biologiques participant ainsi à la conservation faunistique et floristique des espaces sensibles (Jose 2009).

Eléments de biologie et d'écologie

Les carabes sont des insectes coléoptères répartis en différentes sous-familles dont les principales : les Carabinae et les Harpalinae (Dajoz R. 2002). La majorité des carabes sont carnivores mais il existe aussi des espèces granivores et phytophages (Zabrus, Amara…) qui peuvent occasionner des dégâts dans les cultures. On compte environ 1 000 espèces en France.

Globalement les carabes sont opportunistes généralistes. On considère que 80% des adultes sont zoophages mais que les larves sont plus prédatrices (90%) et se nourrissent majoritairement d'œufs, de jeunes limaces, de larves de taupins, et qui ont donc plus d'impact en lutte biologique. Néanmoins les larves de carabidae vivent dans le sol, elles sont donc plus difficiles à suivre et à quantifier dans un milieu. Le suivi est donc généralement centré sur les adultes. Leur taille varie de 3 à 30 mm et ils sont capables d'ingérer une masse en poids frais de 0.8 à 3.5g en fonction de leur poids. Certaines espèces sont capables d'ingérer 3 fois leur propre poids.

Taille de l'individu	Proies potentiellement ingérées
Carabes > 15 mm	Toutes les proies sauf petits arthropodes de type collembole
Entre 10 et 15 mm	Insectes aptérygotes de type collembole (1-8 mm)
Entre 6 et 10 mm	Spécialisés : pucerons, diptères (larves)
Carabes < 6 mm	Proies de petite taille de type acarien

Tableau 4: Type préférentiel de proie ingérée en fonction de la taille de l'individu. (Source : Société Entomologique d'Orléans / Formation Rougeon et Genevois 2009)

On distingue deux périodes de reproduction, l'une printanière (pour 80% des carabes) et l'autre à l'automne (20%). Dans le premier cas la ponte s'effectue en juin-juillet. Les premiers stades développement se déroulent dans le sol jusqu'à la formation de la coque nymphale en octobre/novembre. Les adultes émergent au printemps suivant. Leur développement est aussi affecté par les conditions de températures et d'humidité (entrée en diapause si conditions défavorables).

Leur activité de chasse nocturne donne lieu à des déplacements rapides et en surface. Leurs gîtes de prédilection sont des abris (pierres, débris végétaux) et les végétaux : bandes enherbées, haies, bosquets …

Etats des connaissances

En milieu agroforestier Les premières et seules études de suivi de populations de coléoptères carabidae montrent des résultats variables et peu concluant quant à l'abondance des carabes en milieu agroforestier. Il a été montré sur 2 sites dans le Gard et en Charente Maritimes (Freyssinel 2007) que les carabidae seraient plus abondants en milieu agroforestier que forestier mais qu'au contraire ils seraient moins abondants qu'en milieu agricole. Le manque de répétitions et de sites d'études (choix des témoins agricoles) montrent un vrai besoin de quantification et de classification pour aborder les aspects non seulement quantitatif, qualitatif (type d'espèces) mais aussi dynamique (évolution de l'équitabilité au cours du temps et en fonction de l'âge des parcelles agroforestières).

En milieu forestier, la situation est pratiquement la même : peu d'études à ce jour en France. Une étude réalisée par l'AFOCEL (Augustin et al. 2004) sur deux campagnes (2002 et 2003) dans des peupleraies et des terres agricoles adjacentes (céréales) et bois de feuillus a pu mettre en évidence une richesse spécifique (nombre d'espèces inventoriées) similaire entre

les peupleraies et les parcelles agricoles mais une plus grande abondance de carabes sur les terres en céréales. Cependant, les indices de Shannon et d'équitabilité sont supérieurs au témoin agricole montrant une meilleure répartition des espèces en peupleraies. L'analyse multifactorielle des données a pu également mettre en avant une typologie des peuplements de carabes suivant le degré d'ouverture du milieu (ouvert/fermé) et l'humidité (présence/absence de nappe d'eau phréatique). Dans les milieux les plus humides (fond de vallée) les groupes de carabes (groupement fonctionnel) apparaissent structurés en fonction du degré d'ouverture du milieu. Dajoz (2002) montre aussi l'influence du pH et des caractéristiques du sol sur la diversité carabique.

Enfin, des études sur l'impact des bords de champs (haies, bandes enherbées) et des techniques culturales (agriculture biologique, conventionnelle, avec/sans labour, SCV) effectuées par le CRITT INNOPHYT (Diwo-Allain et Bout 2004) montrent plusieurs résultats intéressants. L'effet des bordures de champs semble être un facteur plus important que les pratiques culturales dans la plupart des cas. Les parcelles entourées d'aménagement herbeux ou arborés présentent une diversité et une répartition des espèces de carabes plus intéressante qu'en milieu d'open-field. De même la présence d'un couvert végétal permanent favoriserait la diversité et l'abondance des carabes dans le temps (études sur 2001 et 2004) et l'apparition d'espèce réputées sensibles (Waligora 2005). Ce phénomène reste à confirmer.

D'autres études sur les bordures de champs ont montré l'effet de ces habitats sur l'abondance et la diversité des arthropodes prédateurs (Thomas et al. 1991 et 1999) et plus spécifiquement sur le contrôle des invertébrés (Sundetland 2002). L'état actuel des connaissances sur les carabes dans les différents habitats de bordures de champs (haies, bosquets, bandes enherbées…) permet de dire que ce type de structure paysagère augmente généralement la diversité des espèces et dans certains cas la densité des populations dans les milieux cultivés (Kromp 1999 ; Lys et al. 1994). Leur contribution dans la régulation des ravageurs reste cependant à éclaircir.

Objectifs de l'étude

La diversité des espèces de carabes est un outil intéressant pour évaluer la biodiversité d'un milieu et son évolution puisque les espèces ont des exigences écologiques différentes et qu'on peut distinguer des espèces pionnières (faibles exigences, conditions d'acclimatation facile en milieu défavorable) et des espèces sensibles présentes lorsque le milieu est plus diversifié.

Les parcelles agroforestières de Restinclières sont aujourd'hui relativement âgée (12 ans) et pourraient constituer des habitats d'intérêts pour les carabes. En évaluant la richesse spécifique et l'abondance des carabes (Indice de Shannon) et l'équitabilité (équilibre de répartition entre les espèces) en agroforesterie nous pourrions comparer nos résultats avec d'autres expériences (en agroforesterie ou avec systèmes de bandes enherbées) et mettre en évidence la richesse de ce type de milieu.

Hypothèses de recherche

(i) Les aménagements agroforestiers au travers des bandes enherbées aux pieds des arbres créent des habitats et des ressources favorables aux carabes. Nous faisons donc l'hypothèse d'une plus grande abondance de carabes dans le témoin agroforestier comparé aux témoins sans arbres et forestier.

(ii) L'hétérogénéité des habitats, et donc des ressources trophiques, favorise la diversité spécifique et l'équitabilité des espèces de carabes dans les parcelles agroforestières comparées aux témoins agricole/forestier. Nous émettons l'hypothèse que la structure des populations de carabes est plus diversifiée et équilibrée comparé à celle des témoins sans arbres et forestier.

Matériel et Méthode

Matériel pour le piégeage passif

Nous utiliserons des méthodes de prélèvement par piégeage passif de type piège Barber. Ce piège (Figure 1) est constitué d'un double pot en plastique, d'une hauteur de 114 mm et d'un diamètre de 95 mm (Unipack, Pro'Jet), enterré jusqu'au bord supérieur de façon à créer un puit dans lequel les individus marcheurs vont tomber. Les pots sont remplis au tiers d'un liquide non attractif à base d'eau, de détergent (sans parfum) et de sel (pour éviter le développement de bactéries et de champignons). Cette solution permet de noyer les individus piégés et de les conserver jusqu'au relevé des pièges. Les pièges sont recouverts d'un toit - constitué d'un carré de 15 cm de côté en contre-plaqué extérieur et de clous de 12 cm- pour éviter d'être remplis lors des pluies. Le contenu de chaque pot est relevé régulièrement et la solution remplacée.

Figure 18 : *Schéma d'un piège à fosse type Barber (Source : Diwo-Allain et Bout 2004) et photos du dispositif mis en place (Hamon 2009)*

Méthode de mise en place du dispositif

Le dispositif comprend une série de pièges sur 4 témoins (Tableau 3) : témoin agricole (dispositif suffisamment éloigné > 30 m de la parcelle agroforestière ou forestière), témoin forestier (noyers), parcelle agroforestière (dispositif sur la bande enherbée et dans l'allée cultivée). Ce dispositif a été mis en place sur la parcelle A2 au sud du domaine.

Il est nécessaire d'espacer suffisamment les pièges au sein d'un même milieu (au minimum 10 mètres entre eux) pour éviter qu'ils ne s'influencent (Figure 2). Ce type de piège permet la collecte de nombreux individus et donne une bonne image de la diversité présente. En termes d'information, il n'indique pas le nombre d'individus présents mais la densité d'individus en activité sur la durée de piégeage.

La mise en place des pièges a été effectuée le 12/03 et a été réajusté après avis scientifique de l'OPIE de Guyancourt et de la Société Entomologique d'Orléans. Le protocole final validé est celui présenté ci-dessous et a été mis en place le 01/04.

Le témoin forestier n'étant pas assez long (L>50m), nous avons disposé 2 lignes de pièges.

La relève des pots a été effectué par le même acteur (Xavier Hamon) toutes les semaines à partir du 08/04 (premier relevé) jusqu'au 16/07 (dernier relevé). Des relevés complémentaires ont été effectués en automne et seront discutés par la suite.

Action	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Mise en place protocole												
Relevé												
Identification												
Analyse - Synthèse												

Tableau 5 : Calendrier d'action pour la campagne 2009

	TA	TF	TAF – bande enherbée	TAF – allée cultivée
Nb pièges à carabes	5	5	5	5
Fréquence de relevé	Toutes les semaines (chaque mercredi)			
Période de relevé	Avril – Mai – Juin – mi-Juillet			
	Soit 15 relevés			

Tableau 6 : Répartition des pièges par modalité et indications sur la campagne de piégeage ; TA : témoin agricole / TF : témoin forestier / TAF : témoin agroforestier

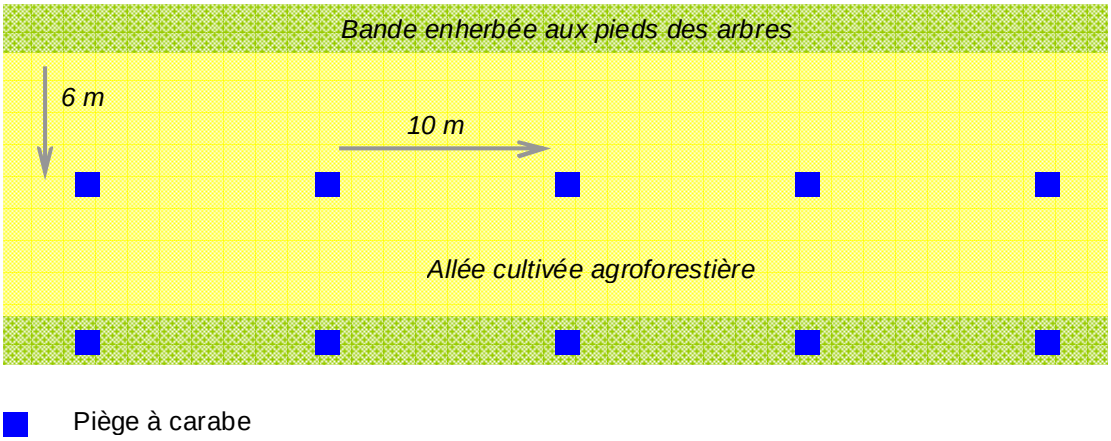


Figure 19 : Positionnement des pièges au sein du témoin agroforestier

Figure 20 : Emplacement des pièges sur la parcelle A2 du domaine de Restinclières ; TF : témoin forestier / TA : témoin agricole / TBE : témoin bande enherbée / TAF : témoin agroforestier (allée cultivée) (Source : Google® / Images satellites 2005 ; Réalisation : Hamon 2009).

Travail en laboratoire et identification des spécimens

Après la relève des pots sur le terrain, le tri s'effectue dans les laboratoires de l'INRA de Montpellier (UMR System). Chaque pot est écumé à l'aide d'une petite passoire aux mailles serrées. Le contenu est ensuite trié et les coléoptères carabidae nettoyés, brossés et conservés à sec pour envoi à identification.

Pour cette première étude, nous avons fait le choix de faire appel à un entomologiste spécialiste des coléoptères (Bruno Mériguet – OPIE Guyancourt). Les échantillons ont été tous identifiés à l'espèce, répertoriés en fonction du numéro du pot et de la modalité. Les échantillons ont été ensuite renvoyés à Agroof.

Organisme	Nom / Prénom	Contact
OPIE Guyancourt http://www.insectes.org/	Bruno Mériguet	Domaine de La Minière Chemin rural n°7 - BP30 78041 GUYANCOURT cedex Tel : 01 30 44 13 43 Mobile: 06 79 63 14 12 Fax: 01 30 43 64 59 bruno.meriguet@insectes.org

Traitement des résultats

Les résultats des relevés et de l'identification seront analysés à l'aide des indice Shannon-Weaver et d'équitabiltié.

L'indice de diversité considéré ici est celui qui est le plus couramment utilisé dans la littérature, il est basé sur la formule suivante :

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} p_i \ln p_i$$

H' : indice de Shannon
i : une espèce du milieu d'étude
p_i : Proportion d'une espèce *i* par rapport au nombre total d'espèces (S) dans le milieu d'étude (ou richesse spécifique du milieu), qui se calcule de la façon suivante: $p(i) = n_i / N$

où n_i est le nombre d'individus pour l'espèce *i* et N est l'effectif total (les individus de toutes les espèces).

- H' est minimal (=0) si tous les individus du peuplement appartiennent à une seule et même espèce.
- H' est également minimal si, dans un peuplement chaque espèce est représentée par un seul individu, excepté une espèce qui est représentée par tous les autres individus du peuplement.
- L'indice est maximal quand tous les individus sont répartis d'une façon égale sur toutes les espèces

L'indice de Shannon est souvent accompagné de l'indice d'équitabilité E :

$$E = H' / \log_2 S$$

Cet indice peut varier de 0 à 1, il est maximal quand les espèces ont des abondances identiques dans le peuplement et il est minimal quand une seule espèce domine tout le peuplement. Insensible à la richesse spécifique, il est très utile pour comparer les dominances potentielles entre stations ou entre dates d'échantillonnage.

Les résultats des relevés seront aussi croisés avec les données météorologiques, les stades phrénologiques du blé et les dates des interventions culturales.

Si le jeu de données le permet une analyse statistique sera menée pour vérifier si les paramètres sont significativement différents d'une modalité à l'autre ainsi que pour comparer la variabilité de l'efficacité de piégeage intra-modalité et inter-modalités.

Résultats

Bilan global de la campagne 2009

Cette première étude a été pour le moins surprenante. En effet, sur les 15 relevés étalés sur 3 mois et demi, nous avons récoltés moins de 90 individus, moins d'un carabe/pot/semaine. Ce chiffre est bien en deçà des rendements de piégeage habituellement rencontrés pour ce genre d'étude en milieu cultivé (*Mériguet comm.pers.)* qui est de l'ordre d'une vingtaine de carabes/pots/semaine au minimum. Ce chiffre pouvant aller jusqu'à une centaine voire plus.

A contrario, le nombre d'espèces rencontrés est relativement « élevé » par rapport au nombre d'individus. En tout, nous avons recensés 30 espèces de coléoptères carabidés différents.

Ces faibles rendements de piégeage nous ont posés beaucoup de **problèmes pour le traitement des résultats** et de nombreuses questions quant au protocole et au milieu d'étude. La plus grande prudence s'impose donc dans l'exploitation des résultats. Les prochaines campagnes devraient apporter plus d'éléments de réponse.

Analyse quantitative de l'abondance en carabes en fonction du témoin

Si l'on considère l'abondance par milieu on considère de ce fait que la parcelle agroforestière est un milieu « composite » (bande enherbée + allée cultivée). Sous cet angle on aurait plus de carabes dans ce milieu (39 ind.), que dans la parcelle sans arbres (30 ind.) ou forestière (18).

A l'inverse, si l'on considère que la parcelle agroforestière un est milieu homogène, et qu'il y a possibilité de transit entre la bande enherbée et l'allée cultivée, alors il nous faut ramener les résultats au même nombre de pièges i-e 5 pièges par témoin. On aurait alors une tendance inverse, à savoir plus de carabes dans le témoin agricole (30) comparé au témoin agroforestier (19), bande enherbée (20) ou forestier (18).

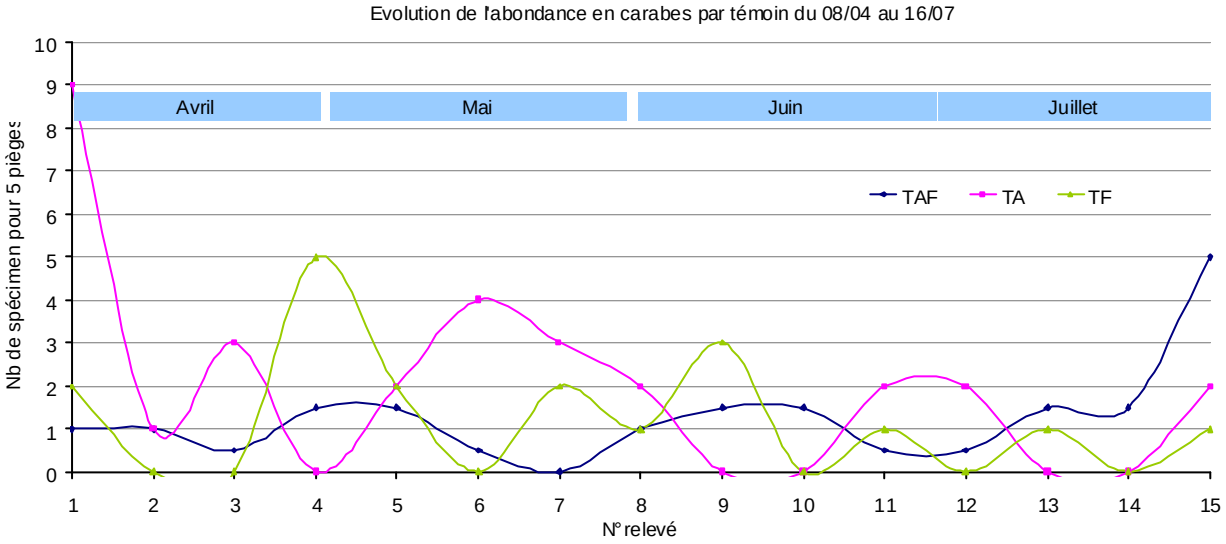


Figure 21 : Evolution de l'abondance en carabes par témoin et ramenée à un nombre de pièges équivalent (5 pièges / témoin).

D'autre part, nous remarquons sur le graphique l'absence du pic de population caractéristique de ces populations de coléoptères, qui se déroule généralement au milieu du printemps.

Du fait de la faible abondance généralisée, nous ne pouvons nous aventurer dans l'analyse statistique des données.

Analyse qualitative croisée avec les données météorologiques, phénologiques et techniques

Les données météorologiques proviennent de la station de Lavalette (7 km au sud du Domaine de Restinclières, à Montpellier). Les données des interventions culturales et des stades de culture ont été relevées par l'équipe de l'UMR System et par Agroof.

Même si le suivi approfondi de la phénologie du blé dur n'a pas été mené à bien cette année, les principaux stades ont été repérés aux dates suivantes et sont indiqués sur le graphique (Figure 5):

- levée le 06/01/09
- tallage inexistant
- LAI max le 30/04/09
- début d'apparition des épis le 04/05/09
- floraison le 07/05/09
- fin floraison le 20/05/09
- début grains pâteux le 03/06/09
- début grain jaune le 17/06/09
- maturité le 23/06/09
- moisson le 26/06/09

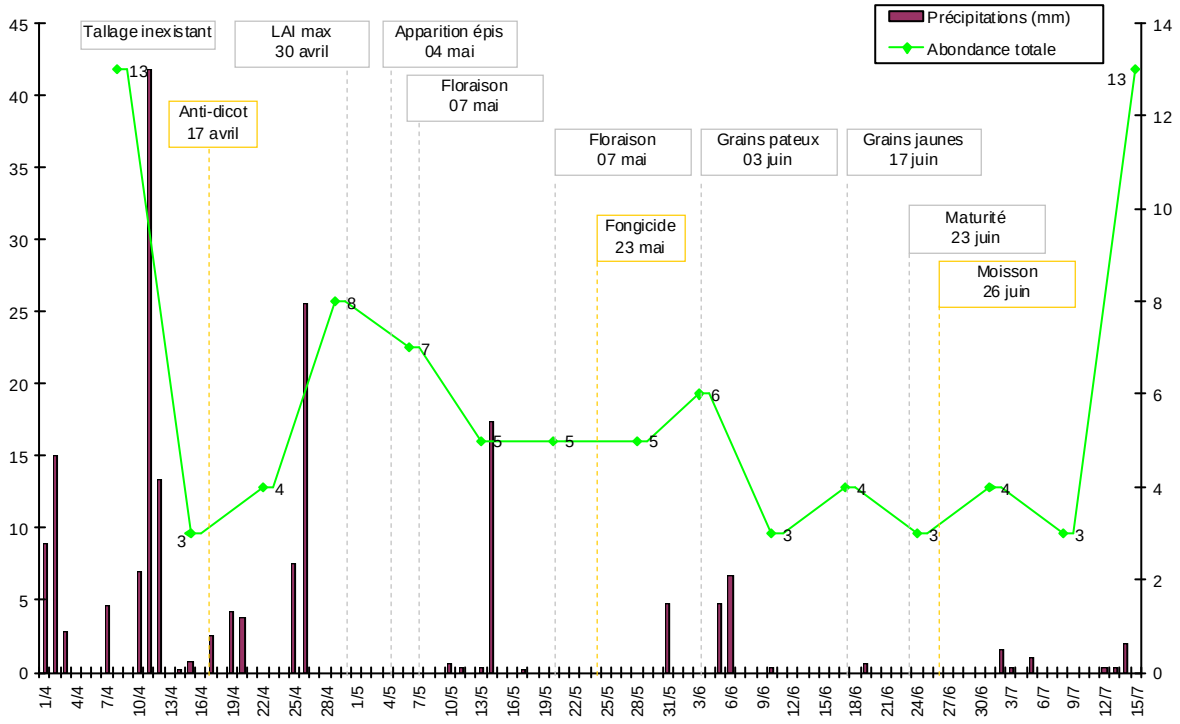


Figure 22 : Représentation croisée de l'abondance en carabes (tous témoins confondus), des données météorologiques (station de Lavalette), des dates d'interventions culturales et des principaux stades phénologiques du blé dur.

L'augmentation de température de la période printemps/été ne figure pas sur le graphique et ne peut nous aider à interpréter les données d'abondance.

De même, si il est admis dans la littérature que les conditions humides sont plus favorables aux carabes que les conditions sèches, ce phénomène ne peut être mis en évidence ici.

Enfin, le développement de la culture du blé ou les interventions culturales auraient pu intervenir dans la dynamique de population des carabes, mais nous ne pouvons émettre aucune interprétation aux regards des faibles effectifs de carabes.

Analyse de la structure des populations

La liste des 30 espèces recensées sur la période de capture est présentée en Annexe 1.

Globalement, on retrouve un très faible nombre de spécimens par espèce, de l'ordre de 3 individus par espèce. Même si cette valeur nous incite à la plus grande prudence quant à l'analyse de la répartition en pourcentage des espèces (Figure 6 à 9), on observe une répartition plus homogène et un plus grand nombre d'espèces dans les témoins agroforestier (14 espèces) et bande enherbée (14) comparés au témoin agricole (9) et forestier (8).

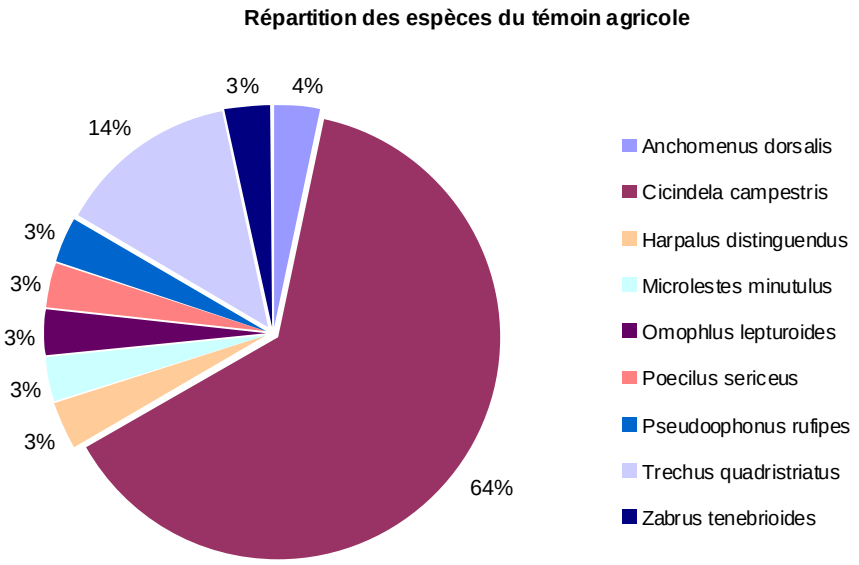


Figure 23: Répartition des espèces de carabes du témoin agricole

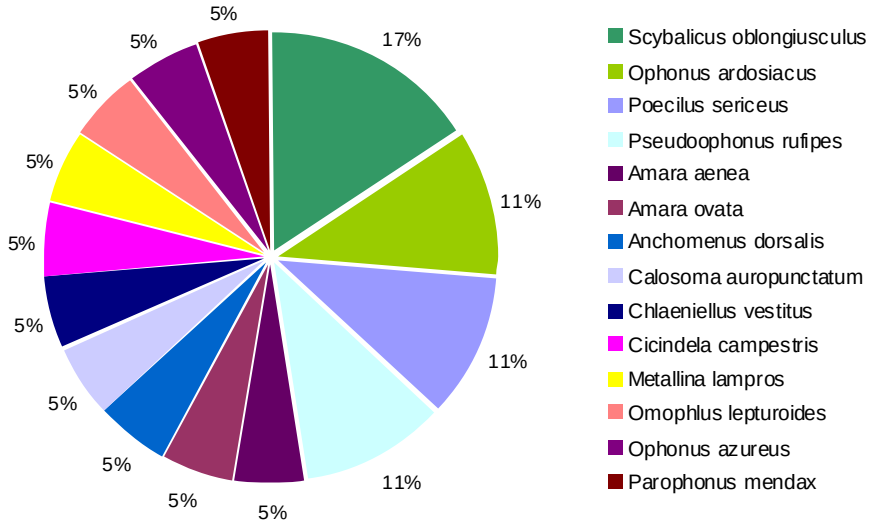


Figure 24 : Répartition des espèces de carabes du témoin agroforestier (allée cultivée)

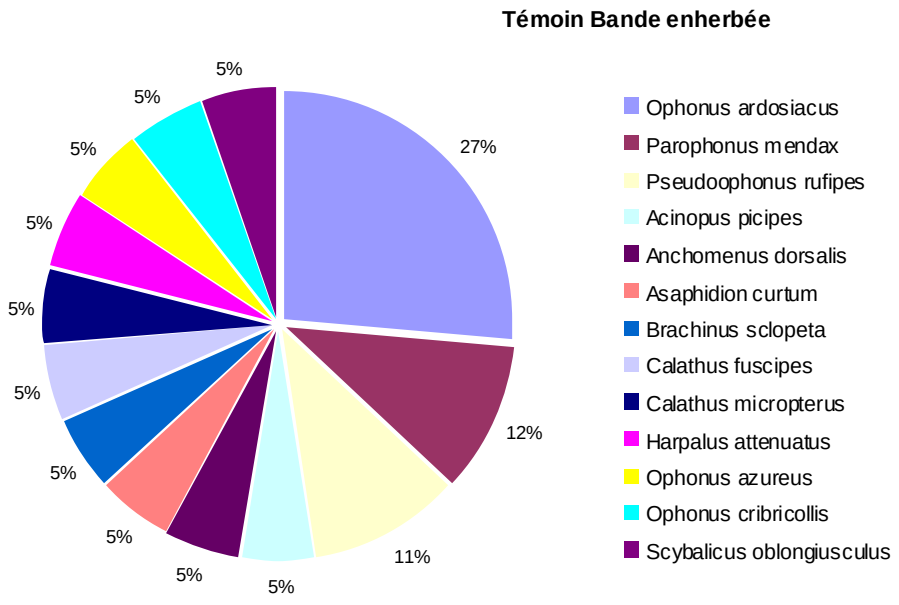


Figure 25 : Répartition des espèces de carabes du témoin agroforestier (bande enherbée)

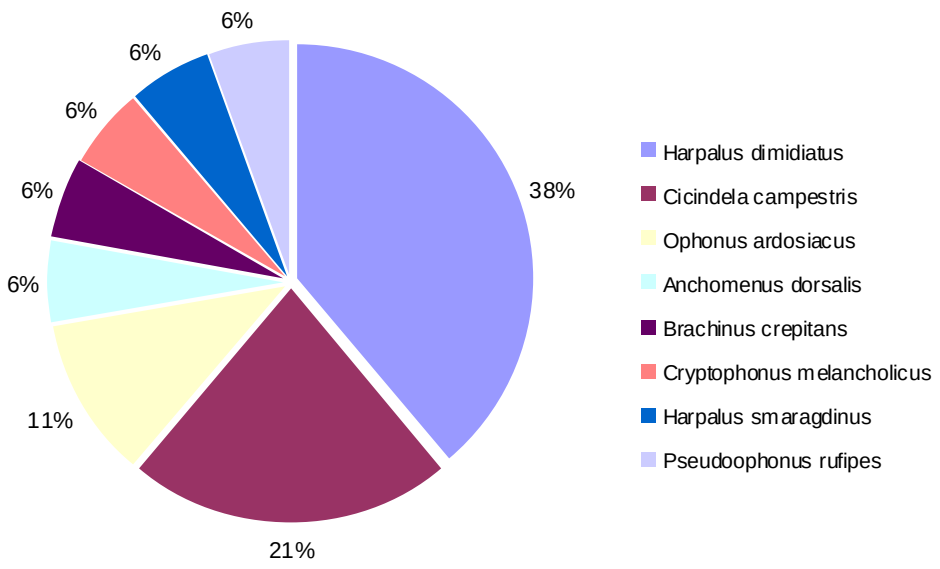


Figure 26 : Répartition des espèces de carabes du témoin forestier

Peu d'espèces sont communes à tous les témoins. On notera seulement *Anchomenus dorsalis* et *Pseudophonus rufipes.*

Chaque témoin possède une dominante spécifique composée d'une ou deux espèces qui représentent 50% ou plus du total des individus capturés (Tableau 4):

Témoin	Espèces dominantes
Témoin agricole	*Cicindella campestris*
Témoin agroforestier (allée cultivée)	*Scybalicus oblongiusculus* *Ophonus adorsiacus* *Poecilus sericeus* *Pseudophonus rufipes*
Témoin agroforestier (bande enherbée)	*Ophonus adorsiacus* *Pseudophonus rufipes* *Parophonus mendax*
Témoin forestier	*Harpalus diminiatus* *Cincindella campestris*

Tableau 7 : Espèces représentant 50% ou plus du total des individus capturés dans chaque témoin

On remarquera de même que certaines espèces sont exclusivement présentes dans un témoin donné (Tableau 5) et que le témoin agroforestier semble accueillir plus d'espèces spécifiques (12 espèces ; 5 et 7 pour l'allée cultivée et la bande enherbée respectivement) que les témoins forestier (3) et agricole (3).

Témoin	Espèces uniquement présentes dans ce témoin
Témoin agricole	*Microlestes minutulus* *Trechus quadristriatus* *Zabrus tenebrioides*
Témoin agroforestier (allée cultivée)	*Amara aenea* *Amara ovata* *Calosama auropunctatum* *Chlaeniellus vesittus* *Metallina lampros*
Témoin agroforestier (bande enherbée)	*Acinopus picipes* *Asaphidion curtum* *Brachinus sclopeta* *Calathus fucipes* *Calathus micropterus* *Harpalus attenuatus* *Ophonus cribricollis*
Témoin forestier	*Brachinus crepitans* *Cryptophonus melancholicus* *Harpalus diminiatus*

Tableau 8 : Espèces exclusivement retrouvées dans un témoin donné

On notera que certaines espèces de carabidae sont classées dans différentes réglementations d'intérêt pour la biodiversité (Tableau 6):

Genre / Espèce	ZNIEFF	Protection régionale
Calosoma auropunctatum		
Poecilus sericeus		
Anchomenus dorsalis		
Scybalicus oblongiusculus		
Harpalus attenuatus		
Cryptophonus melancholicus		
Brachinus crepitans		
Brachinus sclopeta		

Tableau 9: Espèces d'intérêt ; ZNIEFF : Zone d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique

Enfin on peut classer les espèces les plus fréquemment capturées par la fréquence d'apparition (Figure 7). L'espèce la plus fréquemment retrouvée sur la parcelle A2 est *Ophonus ardosiacus*.

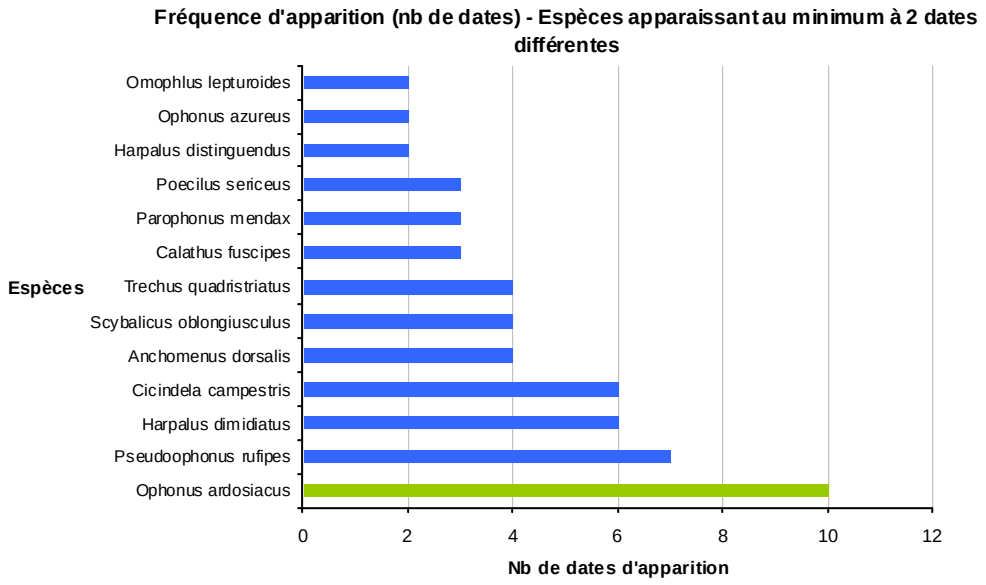


Figure 10 : Fréquence d'apparition des espèces apparaissant au minimum à 2 dates différentes

Eléments d'écologie et de géonémie de quelques espèces recensées

Genre / Espèce	**Eléments d'écologie et de géonémie**
Amara aenea	Granivore. Reproduction de printemps. Lieux découverts, sous les pierres ou courant au soleil, assez commune. Toute la France et la Corse (BONADONA, 1971).
Anchomenus dorsalis	Carnivore. Espèce courante, en régression, autrefois très courante, présente dans les milieux secs et cultivés. Elle se rencontre souvent en compagnie de Brachinus sclopeta.
Brachynus sclopeta	Espèce vivant comme Anchomenus dorsalis en colonies, aussi bien dans les champs que dans les friches. Ces deux espèces semblent souffrir de l'utilisation des insecticides. Presque toute la France sauf dans l'extrême Nord et certaines parties de la Bretagne (BONADONA, 1971).
Cicindella campestris	Court et s'envole au soleil dans les endroits découverts, notamment sur les chemins sablonneux, de mai à septembre. Prédatrice rapide et vorace, elle se nourrit de petits Invertébrés, par exemple de fourmis.
Clathus fuscipes	Carnivore. Dans les terrains vagues, sous les pierres, les pièces de bois ou les débris végétaux ; majeure partie de l'année. Toute la France et la Corse (BONADONA, 1971).
Harpalus attenuatus	Omnivore. Cette espèce peut courante affectionne les milieux secs, calcaires et parfois sablonneux.
Harpalus dimidiatus	Omnivore. Dans les friches et au bord des chemins, sous les pierres ou courant au soleil ; espèce surtout vernale, essentiellement présente de mars à juin
Metallina lampros	Carnivore. Reproduction de printemps. Prairies humides.
Microlestes sp.	Prédateur.
Ophonus azureus	Espèce phytophage, se rencontrant sous les pierres dans les lieux secs, notamment au bord des chemins. Presque toute la France (BONADONA, 1971).
Ophonus rufipes	Omnivore. Fréquent en été dans les friches et les terrains vagues, sous les pierres ; attiré la nuit par les lumières. Toute la France et la Corse (BONADONA, 1971).
Poecilus sericeus	Carnivore. Commun sous les pierres ou courant au soleil dans les

	terrains secs. Espèce répandue dans la majeure partie de la France (BONADONA, 1971).
Pseudophonus rufipes	Omnivore. Reproduction d'automne. Prairies
Scybalicus oblongiusculus	Espèce peu commune, vivant en colonie et affectionnant les terrains secs à tendance argileuse. Elle se rencontre dans les friches et les cultures. Reproduction d'automne.
Trechus quadristriatus	Carnivore. Reproduction d'automne. Milieu indifférent.
Trechus sp.	Endroits humides.
Zabrus terebrioides	Granivore. Dans les terrains vagues et les friches, ou sur les chemins, se déplaçant en plein soleil. Presque toute la France (BONADONA, 1971). Reproduction d'automne.

Ce qui est frappant dans la liste des espèces que l'on retrouve est qu'on a aussi bien des espèces d'habitats humides que secs, plutôt une majorité de carnivore ou omnivore et peu de granivores. Cette disparité s'explique du fait que les milieux adjacents de la parcelle sont constitués d'une ripisylve (habitat frais et humide, dominante de feuillus divers) et d'une pinède (habitat chaud et sec, dominante résineux).

Cependant on ne retrouve pas sur la parcelle des espèces banales, communes en milieux cultivés comme le groupe des Harpalinae et notamment *Harpalus affinis*, un classique du genre ; ou encore des espèces courantes en région méditerranéenne telles que les Ditomus.

D'un point de vue lutte biologique, il est assez difficile de savoir quel régime alimentaire exact (type de végétal mais surtout type de proie) les carabes adoptent. L'étude du régime alimentaire des Carabidae (Holland 2002) peut être faite soit par :

- Observations au laboratoire sur des individus en cage. Détermination de leur préférence alimentaire mais biais de la captivité sur leur comportement (Garcin et Mouton 2006).
- Observations dans le biotope naturel (seule preuve de prédation, mais souvent difficile en raison des mœurs nocturnes) et dissection des individus prélevés
- PCR (polymerase chain reaction) : caractérisation ADN des proies et recherche/amplification des morceaux d'ADN dans l'estomac des arthropodes prédateurs comme les carabes (Symondson 2002)

Analyse de la diversité spécifique – Indice de Shannon et d'Equitabilité

Avec le peu d'effectif par espèce, il est délicat de construire et comparer les indices de Shannon et d'équitabilité. En effet, l'indice de Shannon tend vers 0 si une espèce est surreprésentée. Or, les faibles rendements de piégeage ne nous permettent pas d'établir si oui ou non une espèce a été abondante. Par exemple, le témoin agricole, avec une population de *Cincindella campestris* dominante (n_i=19 et N=30), possède le moins bon indice de Shannon de tous les témoins et l'indice d'équitabilité (qui permet de comparer des témoins aux nombre d'espèces différent) suggère un déséquilibre dans la structure des populations de carabes. Cependant, cette tendance reste à confirmer, et seuls de plus grands effectifs capturés pourront le permettre.

	Témoin agricole	**Témoin AF (allée cultivée)**	**Témoin AF (bande enherbée)**	**Témoin Forestier**
Effectif (N)	30	19	20	18
Nb d'espèces (S)	9	14	14	8
Indice de Shannon (H')	1.35	2.55	2.45	1.75
Indice d'Equitabilité (E)	0.62	0.97	0.93	0.84

Tableau 11 : Analyse de la biodiversité carabiques des témoins de la parcelle A2

De même, le témoin agroforestier (allée cultivée et bande enherbée) semble être un milieu dans lequel la population carabique est équilibrée et riche mais la plupart des espèces recensées ne comptent qu'un individu (n_i=1), ce qui ne nous permet pas de conclure à une meilleure biodiversité *a priori*.

Comparaison des résultats avec d'autres expériences et avis d'experts

En région Languedoc Roussillon, peu d'études ont été faites sur les populations de carabes en milieu cultivé. Arvalis n'a aucune expérience passée ou en cours sur ce thème d'étude (*Philipe Braun comm. pers.)* et l'INRA n'intervient que dans le domaine de l'identification entomologique pour d'autres expérimentations en France, notamment dans la Drôme (une centaine d'espèces de carabes identifiés en 2009 en milieu cultivé) et dans le bassin parisien (*Michel Martinez comm. pers*.).

On notera tout de même les travaux du CTIFL de Balandran qui comparent les populations de carabes en vergers conventionnels, intégré et différents modalités d'entretien en conduite biologique et rapportent une vingtaine à une cinquantaine d'espèces suivant les milieux (Garcin et al. 2004 ; Gur et Garcin 2007). Les effectifs varient selon les années et les témoins (Ricard et al. 2007) entre une dizaine et plusieurs centaines d'individus (piégeage sur 8 pots par témoin au printemps).

Si les conditions de milieu sont différentes (type de culture, environnement) les méthodes de piégeages, la période et les conditions climatiques sont similaires. Les effectifs varient d'une année à l'autre mais ne sont pas aussi faibles qu'à Restinclières.

Sous d'autres climats, des parcelles agroforestières jeunes ont été suivies cette année 2009, par les différents partenaires du programme CASDAR Agroforesterie 2009-2011 dans les régions Poitou-Charente, Picardie, Centre et Midi-Pyrénées.

Là aussi les premiers résultats montrent des effectifs globalement importants de l'ordre d'une centaine à plusieurs milliers de carabes dans certains cas (pour le même dispositif que Restinclières : nombre de pots, type de pots…etc.). L'identification est en cours.

Après discussion des premiers résultats de notre étude avec Michel Martinez (INRA Montpellier) et Bruno Mériguet (OPIE Guyancourt) il en ressort les observations suivantes :

- Effectifs capturés très faibles et relativement peu d'espèces
- Peu d'espèces de milieux cultivés sont présentes dont certaines sont très banales (ex : Platysma ou le genre Carabus).
- Le milieu est complexe et certainement influencé par les habitats adjacents
- La parcelle cultivée est jeune (une dizaine d'années) et l'environnement de Restinclières n'est pas un milieu très agricole
- L'impact des pratiques culturales (traitements fongicide et herbicide) jour certainement un rôle direct ou indirect sur la ressource pour les carabes
- Le milieu agroforestier est un milieu diversifié qui accueille plus d'espèces qu'un champ sans arbres

Discussion

Analyse critique de la méthode et des résultats

Il s'agit ici d'une première étude sur une campagne annuelle au printemps. L'étude est a répété sur 3 ou 5 ans pour gommer la variabilité interannuelle et une éventuelle fluctuation saisonnière des populations.

La mise en place des pots pièges est certainement à parfaire mais globalement la plupart des critères déterminants du protocole ont été discutés lors de formations spécifiques avec des spécialistes.

Les résultats de cette étude sont à considérer avec la plus grande prudence étant donné les faibles effectifs de carabes. Nous avons suggéré des tendances qui demandent à être confirmée ou infirmées.

Test d'un protocole élargi

En cours de campagne de piégeage (début juin), et faisant face à une faible efficacité de piégeage ou à une spécificité du milieu incomprise, nous avons réfléchi à un protocole élargi incluant d'autres témoins et d'autres modalités (Figure 10). Nous avons donc placé des pièges tests supplémentaires dans :

- la bande enherbée entre la ripisylve et la première allée agroforestière au sud de la parcelle (*TR*)
- une autre allée cultivée au sein du témoin agroforestier (*TAF-bis*)
- une autre parcelle agroforestière (parcelle A1) (*TAF-ter*)

Emettant aussi l'hypothèse d'un trop fort désherbage (manuel) autour du pot à le mis en place, une modalité a été rajoutée dans la parcelle A1 et la nouvelle allée agroforestière : aucun désherbage n'a été effectué hormis à l'emplacement même du pot.

Figure 27 : Localisation des pots pièges supplémentaires rajoutés en cours d'expérimentation (Source : Google® - Images satellites 2005 ; Réalisation : Hamon 2009)

Pots pièges supplémentaires

Les relevés de mi-juin à mi-juillet sur ces pots supplémentaires n'ont été guère satisfaisants (et donc non présentés dans ce document). Les effectifs capturés n'ont pas été meilleurs qu'au sein du premier dispositif. Aucune nouvelle espèce n'a été recensée par ailleurs.

Cet essai demande à être reconduit dans de meilleures conditions et plus précocement dans la saison.

Test de piégeage à l'automne

Faisant l'hypothèse d'un pic de population à l'automne - à défaut d'un pic printanier - nous avons continué la campagne de piégeage après l'été et ce à partir du 09/09 jusqu'au 21/10 suivant le dispositif originel (20 pots pièges dans 4 témoins).

Les effectifs piégés ont été légèrement supérieurs (84 individus) comparés aux piégeages de printemps qui ont donné à peu près le même effectif mais sur 15 relevés au lieu de 6 à l'automne. Une campagne automnale serait à renouveler en 2010.

Le dispositif et la mise en place des pièges

La faible efficacité de piégeage pourrait provenir du piège ou de l'expérimentateur. En effet, un soin particulier doit être apporté au positionnement du pot par rapport à la surface du sol. Les bords du pot doivent être très légèrement (2-3 mm) en dessous de la surface du sol, jamais au dessus. Au cours de la campagne de relevé, et en fonction des conditions climatiques cette continuité sol/bords du pot a pu être rompue (surtout en condition sèche

avec apparition de fissures en surface). Néanmoins, dans d'autres expérimentations des photos prises par l'expérimentateur montrent certaines ruptures de continuité, ou un décalage flagrant de hauteur entre la surface du sol et le pot, mais n'ayant pas impacter l'efficacité de piégeage.

D'autre part, nous avions désherbé les alentours directs du pot lors de la mise en place au printemps, peut être un peu trop. La végétation a cependant reprise le dessus dans certains cas. Ce désherbage prononcé au début de l'expérience pourrait être un des facteurs mis en cause.

Le pot lui-même peut aussi être mis en cause :

- toit pas assez grand ne protégeant pas suffisamment le pot lors de pluies
- produit vaisselle (mouillant) peu efficace
- pots neufs ayant une odeur prononcée de plastique (?)

Qui mangent les carabes ?

Les sangliers du domaine ont occasionnés quelques dégâts sur le dispositif (pots retournés, cassés…). Friands d'insectes, les pots pièges constituent un garde-manger inespéré pour ces mammifères ongulés. Cependant, ces dégâts ont été ponctuels et peu fréquents sur la totalité de la campagne. Existent-t-ils d'autres prédateurs plus discrets et délicats capables de ravir les carabes tombés dans les pièges ? Oiseaux, micromammifères …

Les carabes : un bon indicateur ?

Si les carabes sont des bio-indicateurs d'intérêts, ils sont aussi intégré dans une chaîne alimentaire spécifique au milieu et susceptible d'être en compétition avec un autre prédateur (staphyllins, aranéides). Or, nous avons remarqué une certaine abondance d'arachnides dans les pièges. Elles aussi sont prédatrices de certains insectes et mollusques.

Hypothèse la plus probante : approche paysagère des populations de carabes sur le domaine

Nous émettons l'hypothèse que le milieu considéré (la parcelle A2) est un milieu de transit, peu pourvoyeur de ressource et donc de peu d'intérêt pour les populations carabiques.

N'ayant retrouvé que peu d'individus par espèce, fait rare, nous pensons que les effectifs et le nombre d'espèces sont bien plus grands dans les milieux environnant la parcelle i-e la ripisylve, la pinède ou même le champ voisin (à l'Est). Ces populations ne s'aventureraient que peu voire pas du tout dans la parcelle.

Certes les lignes d'arbres constituent un habitat supplémentaire, d'où un plus grand nombre d'espèces recensées, mais ne représentent pas un milieu suffisamment riche en ressources (plantes, graines, acariens, collemboles…etc) pour accueillir de grandes populations. Les populations de carabes restent donc inféodées à leur habitat d'origine (ripisylve, garigue, pinède, champ cultivé voisin) riche en ressource.

Ce qui remettrait en cause l'hypothèse de colonisation ou de dispersion par continuité écologique entre des habitats dispersés mais connectés. La condition selon laquelle le milieu est diversifié (lignes d'arbres agroforestières) ou entouré d'espaces semi-naturels riches, ne suffirait pas à provoquer le transfert/colonisation de la parcelle par les populations de

carabes. Les habitudes et les comportements des carabes ainsi que les pratiques culturales peuvent aussi jouer un rôle majeur.

Propositions d'amélioration du suivi pour 2010

Nous suggérons les propositions suivantes pour l'année prochaine :

1) implantation des pièges plus tôt au printemps (à partir de mars)
2) prévoir un toit plus grand (20x20cm)
3) essayer un autre mouillant que le produit vaisselle inodore utilisé
4) assurer la continuité bords de pots/ sol par l'ajout de sable ou de terre si nécessaire
5) observer les populations d'arachnides
6) poursuivre la campagne à l'automne
7) organiser une chasse à vue orientée dans les milieux connexes (chasser sous les pierres, bois morts…) pour voir quelles espèces sont présentes
8) étendre l'échantillonnage aux milieux connexes : mise en place de 5 pièges dans la ripisylve (en contre bas, près du Lirou) et de 5 pièges dans la pinède au nord de la parcelle

Conclusion

Cette première étude comparée des populations carabiques sur la parcelle A2 du Domaine de Restinclières s'est déroulée d'avril à juillet (piégeage de printemps) ainsi que de septembre à octobre (piégeage d'automne). Le dispositif mis en place (20 pots répartis sur 4 témoins) n'a pas permis de capturer des effectifs suffisants (moins de 100 carabes) pour permettre un traitement approfondi des résultats. La richesse spécifique est globalement moyenne avec 30 espèces recensées. Le témoin agroforestier semble accueillir plus d'espèces que les témoins agricole et forestier, et les indices de Shannon et d'équitabilité sont supérieurs en agroforesterie. Cependant, le manque d'effectifs ne nous permet pas de valider statistiquement cette tendance. Une approche plus intégrative devrait permettre de mieux comprendre la dynamique des populations de carabes entre la parcelle et les milieux connexes et apporter des éléments de réponse quant à la faible efficacité de piégeage remarquée en 2009.

Références bibliographiques

AUGUSTIN S., DENUX O., BERTHELOT A., DELEUZE C., 2004. Des carabes dans les peupleraies Picardes. Informations - Forêt n°3 - Fiche n°692

BONADONA P., 1971. – Catalogue des Coléoptères Carabiques de France. Supplément à la Nouvelle Revue d'Entomologie, Toulouse, 177 p.

DAJOZ R. 2002). Les coléoptère et ténébrionidés. Editions tec et doc, 522p

DIWO-ALLAIN S. et BOUT A., 2004. Impact des aménagements paysagers et des techniques culturales sur les carabes, auxiliaires *de cultures*. Journées Techniques Nationales Fruits et Légumes Biologiques, St Pierre des corps. Disponible en ligne (http://www.critt-innophyt.asso.fr/html/publi.htm#limaces)

DIWO-ALLAIN S. et ROUGEON A., 2004. *Carabes : auxiliaires de cultures, indicateurs de la biodiversité d'un milieu*. Fiche Technique CRITT INNOPHYT. Réussir Fruits & Légumes, n°231, 4p.

FREYSSINEL G., 2007. Étude *de la diversité de la pédofaune dans les systèmes agroforestiers*, Mémoire Master, Université de Tour, 64 p.

GARCIN A. et MOUTON S., 2006. Le régime alimentaire des carabes et staphylins, Infos-CTIFL, n°218, pp . 19-24

GARCIN A., DEMARLE O., SOLDATI F., 2004. Les carabes, indicateurs de biodiversité et auxiliaires généralistes, Infos-CTIFL, n° 299, pp.42-47

GUR C. et GARCIN A., 2007. Arthropodes épigés du sol (carabes, staphylins et aranéides) – Impact des pratiques culturales, Infos-CTIFL, n°237, pp. 27-32

HOLLAND J.M., 2002. The agroecology of carabid beetles. Andover : Intercept, 356p,

KROMP B., 1999. Carabid beetles in sustainable agriculture : a review an pest control effifi cacy, cultivation impacts and enhancement. Agriculture, Ecosystems and environment. n°74 : 187-228

KROMP, B. (1999). *Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement*. Agriculture, Ecosystems & Environment 74: 187-228.

LYS J.-A., NENTWIG W., 1994. *Improvement of the overwintering sites for Carabidae, Staphylinidae and Araneae by strip-management in a cereal field.* Pedobiologia 38, 238– 242.

RICARD J-M., DAMIAN-PICOLLET S., BOUSQUET L., 2007. Biodiversité des arthropodes du sol en verger d'olivier – A la recherche de prédateurs de la mouche de l'olive, Infos-CTIFL, n°229, pp. 25-30

STAMPS W. T. and LINIT M. J., 1998. *Plant diversity and arthropod communities: Implications for temperate Agroforestry*. Agroforestry Systems 39: 73–89

SUNDETLAND, K. (2002). *Invertebrate pest control by carabids*. In: J.M. Holland, Editor, *The agroecology of carabid beetles*. Intercept, Andover (2002), pp. 165–214.

SYMONDSON W.O.C., 2002. Molecular identifification of prey in predator diets. Molecular ecology 11 : 627-641.

THOMAS C.F.G., MARSHALL E.J.P., 1999. *Arthropod abundance and diversity in differently vegetated margins of arable fields*. Agriculture, Ecosystems & Environment 72:131-144.

THOMAS M.B., WRATTEN S.D., SOTHERTON N.W., 1991. *Creation of "island" habitats in farmland to manipulate populations of beneficial arthropods: predator densities and emigration*. Journal of Applied Ecology 28:906-917.

WALIGORA C., 2005. *Carabes- explosion des populations en non-labour et couvert permanent*, Techniques Culturales Simplifiées n° 34

Annexes

Famille	Genre	Espèce	Auteur
Carabidae	Cicindela	campestris	Linnaeus
Carabidae	Calosoma	sycophanta	Linnaeus
Carabidae	Calosoma	auropunctatum	Herbst
Carabidae	Trechus	quadristriatus	Schrank
Carabidae	Metallina	lampros	Herbst
Carabidae	Asaphidion	curtum	Heyden
Carabidae	Poecilus	sericeus	Fischer von Waldheim
Carabidae	Zabrus	tenebrioides	Goeze
Carabidae	Amara	aenea	De Geer
Carabidae	Amara	ovata	Fabricius
Carabidae	Calathus	fuscipes	Goeze
Carabidae	Calathus	micropterus	Duftschmid
Carabidae	Anchomenus	dorsalis	Pontoppidan
Carabidae	Scybalicus	oblongiusculus	Dejean
Carabidae	Parophonus	mendax	P. Rossi
Carabidae	Acinopus	picipes	Olivier
Carabidae	Harpalus	attenuatus	Stephens
Carabidae	Harpalus	dimidiatus	P. Rossi
Carabidae	Harpalus	distinguendus	Duftschmid
Carabidae	Harpalus	smaragdinus	Duftschmid
Carabidae	Pseudoophonus	rufipes	De Geer
Carabidae	Cryptophonus	melancholicus	Dejean
Carabidae	Ophonus	ardosiacus	Lutshnik
Carabidae	Ophonus	azureus	Fabricius
Carabidae	Ophonus	cribricollis	Dejean
Carabidae	Chlaeniellus	vestitus	Paykull
Carabidae	Microlestes	minutulus	Goeze
Carabidae	Brachinus	crepitans	Linnaeus
Carabidae	Brachinus	sclopeta	Fabricius
Tenebrionidae	Omophlus	lepturoides	Fabricius

Annexe 1 : Liste des 30 espèces de coléoptères carabidés (et auteurs), recensés sur la parcelle A2 du domaine de Restinclières

Etude des échanges d'individus entre les populations de prédateurs présentes sur la vigne, sur les arbres co-plantés en agroforesterie et dans l'environnement proche

Rapport d'activités PIRAT 2009

UMR CBGP – Montpellier SupAgro

Adresse :

Montpellier SupAgro, UMR CBGP

2 place Viala, bâtiment 16
34060 Montpellier cedex 01

Chercheurs impliqués :

Marie-Stéphane TIXIER
Sabine GUICHOU
Serge KREITER

Tél : 04 99 61 23 49

Correspondant du projet :

Serge KREITER

Email : kreiter@supagro.inra.fr

1. Objectifs

Peu de travaux concernent l'impact de l'agroforesterie sur l'entomofaune et sur l'acarofaune. Les résultats des quelques études existantes montrent un effet positif sur les communautés de prédateurs. Le travail réalisé précédemment dans le cadre d'une thèse était le premier concernant l'impact de la gestion agroforestière sur les guildes de Phytoseiidae. Ce travail a présenté des résultats intéressants mais des questions restaient cependant sans réponse concernant les échanges de prédateurs entre les arbres co-plantés et la vigne.
Le but du travail en 2009 était de réaliser des études moléculaires en utilisant des marqueurs variables pour étudier les échanges entre les arbres co-plantés, les vignes co-plantées et l'environnement immédiat des parcelles dans lequel on rencontre également des Phytoseiidae. L'étude s'est focalisée sur une espèce particulière de Phytoseiidae, *Typhlodromus exhilaratus* Ragusa, qui est l'espèce majoritairement présente sur les vignes et sur les arbres co-plantés avec la vigne.

2. Expérimentations mises en œuvre

Echantillonnages : Des échantillonnages sur le site de Restinclières ont été réalisés en juin 2009 afin de collecter des individus de *T. exhilaratus* dans chacun des compartiments étudiés :

- Vignes co-plantées avec des cormiers
- Cormiers co-plantés avec la vigne
- Vignes co-plantées avec des pins
- Pins co-plantés avec la vigne
- Individus dans l'environnement non cultivé à proximité des parcelles étudiées sur la viorne
- Parcelles de vigne non conduites en agroforesterie,

Le tableau suivant présente le nombre de séquences obtenues pour les deux gènes étudiés.

Populations	Nombre de séquences 12S rDNA	Nombre de séquences CytB mtDNA
Viorne	10	13
Cormier + vigne	0	1
Vigne + cormier	4	5
Vigne + pins	10	14
Vigne seule	3	5

Il est à noter diverses difficultés, du fait tout d'abord du faible nombre d'individus sur les cormiers et dans les vignes co-plantées avec le cormier, ce qui explique le faible nombre d'individus collectés et de séquences obtenues. Nous avons eu également des difficultés pour récupérer des individus vivants sur les pins. Les Phytoseiidae se cachent à l'insertion des aiguilles et l'examen à la loupe binoculaire ne permet pas de les voir. Nous avons dû procéder à des lavages rapides de végétaux et déterminer si ce procédé endommageait l'ADN. Suite à ces tests, il semble que l'ADN ne soit pas endommagé. Des individus ont donc été collectés de cette façon sur le pin et les analyses moléculaires seront faîtes dans le courant du mois d'octobre.

Extraction d'ADN : L'ADN total a été extrait à partir d'un seul individu par l'utilisation d'un kit d'extraction (Quiagen, Hilden) pour tous les individus collectés.
Amplification et séquençage : Deux gènes mitochondriaux ont été étudiés (12S rDNA et CytB mtDNA). Ces deux fragments ont été choisis car ils présentent d'après les éléments bibliographiques des taux d'évolution élevés et donc sont supposés être suffisamment variables au sein d'une espèce pour étudier la proximité génétique de différentes populations.
La PCR est effectuée dans un volume total de 25 µl. Ce volume comprend 2 µl d'ADN et 23 µl de la solution mix : 1 µl de dntp (2.5 Mm pour chaque nucléotide), 2.5 µl de solution tampon, 1 µl de chaque amorce (100 µM), 0.5 µl deTaq (Qiagen, 5 U / µl) et 18.9 µl d'eau. Les conditions PCR sont les suivantes : une phase de dénaturation à 95 °C pendant 1 mn, puis 35 cycles, chacun comprenant 3 phases : 94 °C pendant 30 s, 40 °C pendant 30 s et 72 °C pendant 1 mn pour le 12S et 94°C pendant 2 min, 53° C pendant 60 s et 72 °C pendant 1 min pour le CytB.
Les deux fragments d'ADN ont été amplifiés pour tous les individus collectés. Les produits de la PCR ont été envoyés à séquencer.

3. Résultats

⇨ La présence de *Kampimodromus aberrans* dans les parcelles de vigne co-plantées avec la vigne. Les analyses moléculaires (Figure 1A,B) montrent que certains individus collectés sur le pin sont bien séparés de ceux collectés dans les autres parcelles de vigne et sur la viorne. En blastant ces séquences dans nos bases de données et en observant les individus montés entre lame et lamelle, il s'avère que ces individus appartiennent à l'espèce *Kampimodromus aberrans*. Ils représentent 9 individus sur les 14 (65%) étudiés avec le gène CytB et 7 individus sur les 10 (70%) étudiés avec le gène 12S. Nos derniers échantillonnages à Restinclières datent de 2006. A cette période, *T. exhilaratus* était majoritaire dans toutes les parcelles y compris celles co-plantées avec le pin. Ce premier résultat est donc étonnant. Toutefois, *K. aberrans* est l'espèce majoritairement présente dans les parcelles de vigne en Languedoc-Roussillon et PACA. Au début de cette étude, nous nous étions même étonnés de ne pas retrouver à Restinclières cette espèce dominante comme elle est partout ailleurs. Les hypothèses énoncées alors étaient que *T. exhilaratus* était une espèce colonisatrice de milieux récemment plantés et défrichés et que d'ici à quelques années peut être, *K. aberrans* allait apparaître et dominer dans les parcelles de vigne. Ce scénario semble s'être mis en place d'après les résultats de 2009, mais uniquement dans les parcelles co-plantées avec le pin. Il reste donc de nombreuses interrogations pour en déterminer les raisons, ces parcelles étant distantes de quelques mètres à peine. Les sources potentielles de *K. aberrans* précédemment identifiées sont les micocouliers présents un peu partout dans le domaine mais surtout à l'entrée, soit à quelques kilomètres des parcelles étudiées. Pourquoi *K. aberrans* aurait-il colonisé préférentiellement les parcelles co-plantées avec le pin plutôt que celles co-plantées avec le cormier ? Les pratiques phytosanitaires réalisées sur ces parcelles seront également à examiner.
Par ailleurs, il est important de déterminer quelle espèce est présente sur les pins co-plantés avec la vigne : *K. aberrans* comme sur la vigne, ou toujours *T. exhilaratus*. Il est à noter que les collectes de Phytoseiidae ont été plus faciles dans les parcelles co-plantées avec le pin que dans celles co-plantées avec le cormier. Le fait que les espèces présentes dans ces deux types de parcelles aient été différentes,

peut expliquer ces observations. Cela suggère que *K. aberrans* se développerait mieux (en plus grande densité) que *T. exhilaratus* dans les parcelles de vigne et serait très vite plus compétitive que les autres espèces potentiellement présentes.

⇨ **La présence de *T. phialatus* sur la viorne**. Cent pour cent des individus collectés sur la viorne appartiennent à l'espèce *T. phialatus*. Déjà en 2006, cette espèce était majoritaire sur cette plante, mais *T. exhilaratus* était également présente. Nous pensions donc retrouver quelques individus de *T. exhilaratus* aussi sur la viorne, ce qui n'a pas été le cas.

⇨ La présence de *T. exhilaratus* dans les parcelles de vigne co-plantées et seules. Comme les années précédentes, *T. exhilaratus* est l'espèce majoritaire dans ces parcelles. Quelques individus de *T. phialatus* ont été également observés.

⇨ Le seul individu collecté sur le cormier en 2009 co-planté avec la vigne appartient à l'espèce *T. phialatus*.

⇨ Les échanges arbres / vigne. Nous avons combiné nos résultats avec ceux obtenus par Ziad Barbar lors son doctorat en utilisant le gène 12S. Les conclusions émises sont différentes. Il avait montré une légère structuration des populations et notamment une différenciation des populations de *T. exhilaratus* trouvées sur cormier seul par rapport à toutes les autres collectées dans les vignes (soit sur vigne, soit sur cormiers). Les résultats de 2009 montrent l'absence de structuration. Tous les individus de *T. exhilaratus* sont identiques quelle que soit leur localisation. Les distances génétiques sont extrêmement faibles. Les mêmes résultats sont obtenus avec le gène cytB, pourtant plus variable. Deux hypothèses peuvent être émises :

- soit il n'y a pas de structuration génétique des populations présentes sur le site d'étude et des échanges importants existent entre tous les compartiments de l'agrosystème
- soit les marqueurs utilisés ne permettent pas de mettre en évidence cette structuration. Cependant, les marqueurs mitochondriaux utilisés sont supposés être variables. Peut être le gène 16S pourrait être également testé. La seule autre solution serait l'utilisation de microsatellites, mais ils n'existent pas chez les Phytoseiidae et notamment pour l'espèce *T. exhilaratus*. D'autre part, leur mise au point nécessite plusieurs années et leur utilisation par la suite est très onéreuse.

4. Conclusion et perspectives

Les perspectives de ce travail concernent deux points :

La colonisation des parcelles par *K. aberrans*. Ce point mériterait d'être plus étudié les prochaines années par la réalisation d'échantillonnages dans les parcelles de vigne co-plantées et seules. De même, il semblerait intéressant de réaliser des échantillonnages dans la végétation environnante afin de déterminer si les changements de faune observés dans les parcelles co-plantées avec les pins se manifestent également dans la végétation voisine. Des études plus approfondies sur la provenance de *K. aberrans* pourraient être également réalisées.

Les échanges de *T. exhilaratus* entre les arbres co-plantés et la vigne. Les marqueurs utilisés n'ont pas permis de montrer de structuration des populations au sein du site étudié. Mettre au point des marqueurs micro-satellites dans le seul projet PIRAT semble illusoire. La mise au point de tels marqueurs devrait rentrer dans le cadre d'un projet pourvu de moyens plus importants. D'autres marqueurs pourraient néanmoins être testés (moins coûteux) comme le séquençage du gène 16S ou encore la technique AFLP. De plus, des piégeages pourraient être mis en place afin de déterminer si des déplacements effectifs existent entre les arbres et la vigne.

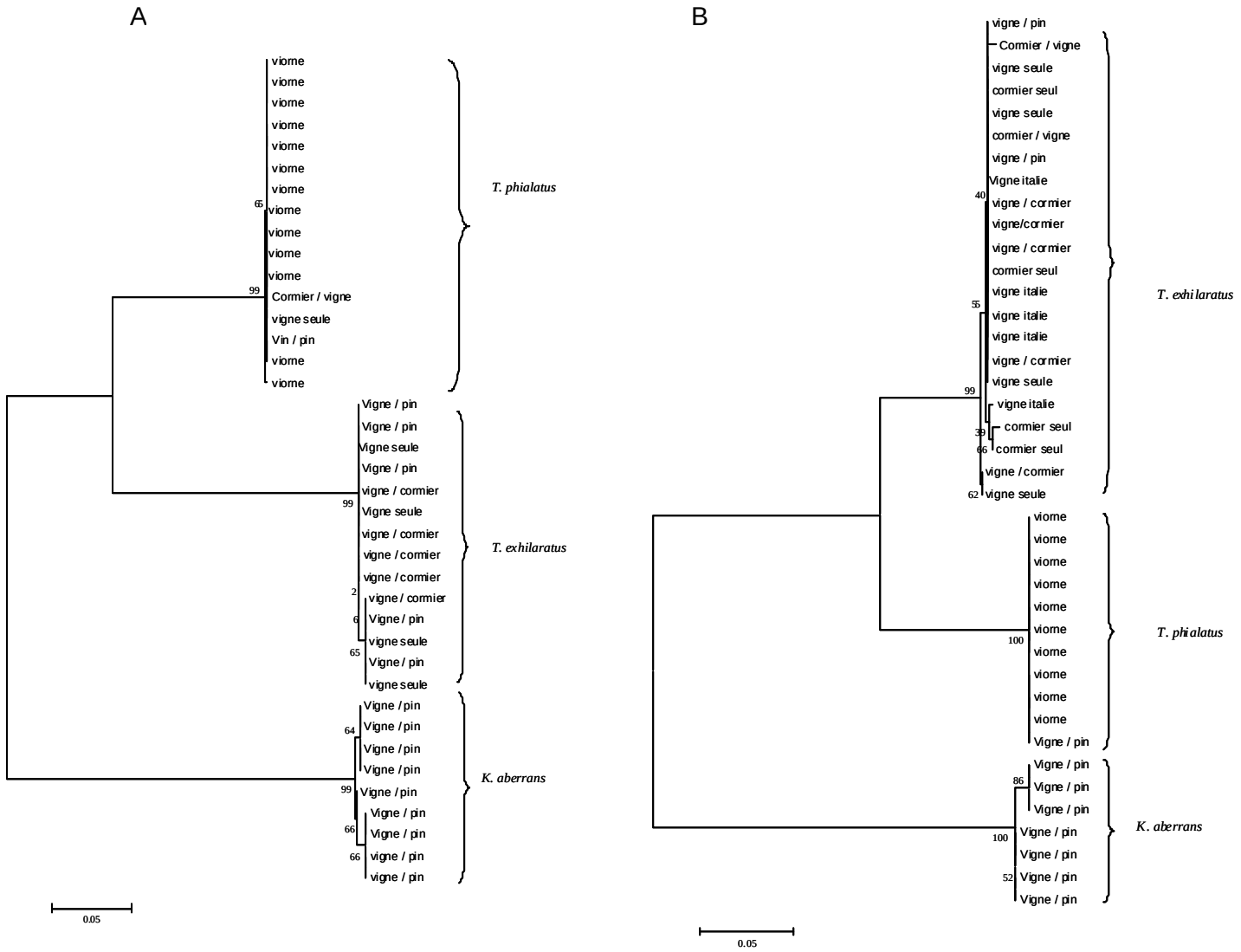


Figure 1. Cladogramme obtenu par Neighbour joining A. avec le gène cytB, B. avec le gène 12S. Les chiffres près des nœuds correspondent aux valeurs de bootstrap

Étude des interactions entre l'arbre et la vigne en agroforesterie

Rapport d'activités PIRAT 2009

Chambre d'Agriculture de l'Hérault

Adresse	***Correspondant du projet***
Chambre d'agriculture de l'Hérault	Nathalie Goma-Fortin
15 rue V. Hugo 34120 Pézenas	
Chercheurs impliqués	Mail :
Nathalie GOMA-FORTIN	goma-fortin@herault.chambagri.fr
William TRAMBOUZE	

Objectifs de l'étude

Dans le cadre de parcelles agroforestières, l'objectif est d'évaluer l'impact des arbres sur la culture intercalaire, la vigne dans cette partie de l'étude. L'évolution inter-annuelle de la qualité et de la quantité de raisins produits seront les premiers indicateurs d'une concurrence éventuelle entre les arbres et les ceps de vigne et de son mode d'installation.
Compte tenu du caractère pérenne de la vigne, l'étude sera menée à court et à moyen terme sur la récolte de raisins et à plus long terme sur l'expression végétative, la puissance et le système racinaire des ceps.

Le compte rendu suivant présente les résultats 2009 et des synthèses sur l'ensemble des années suivies sur certains paramètres. Enfin, les chapitres spécifiques aux fosses réalisées dans les parcelles ont été repris dans ce compte rendu.

Protocole

2.1 Les parcelles suivies

Le domaine de Restinclières est situé au nord de Montpellier, dans la zone d'AOC Pic st Loup. Le régime hydrique est relativement important pour le département, 1280mm pour le millésime 2009 (oct 08-sept 09) (source : Association Climatologique de l'Hérault).

Les parcelles agroforestières viticoles du domaine de Restinclières (Hérault), plantées en 1998, permettent de croiser de nombreux facteurs : essences d'arbres, cépages, densités de plantation, orientation des rangs. Pour comparaison, des parcelles viticoles sans arbres sont également présentes sur le domaine dans des conditions culturales similaires.
Le domaine compte 8 parcelles viticoles réparties sur 7 ha.
Les distances de plantation inter-rangs en agroforesteries "intensive" et "extensive" sont respectivement de 2,50m entre chaque rang quel que soit le végétal cultivé pour l'intensive et 2,50m entre rangs de vigne + 3,75 entre rang vigne/arbre pour la modalité extensive.
Les parcelles témoins en vigne sont plantées à une densité de 2,50 m sur 1 m sur le rang.

zone viticole du domaine de Restinclières

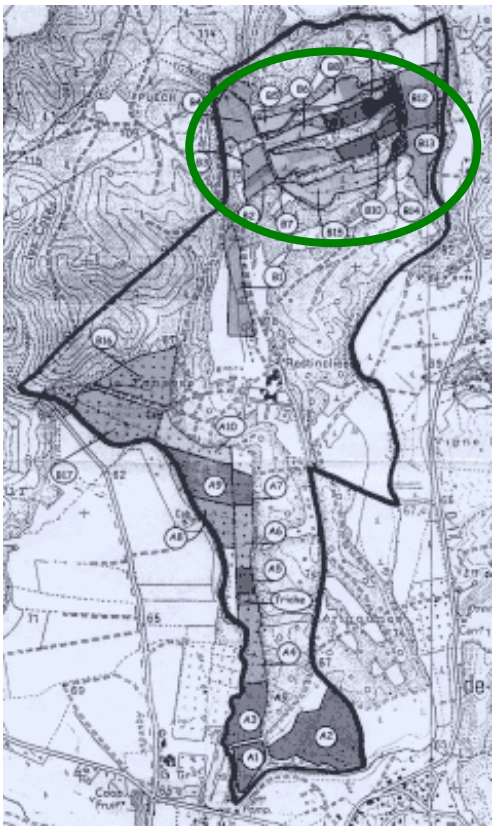
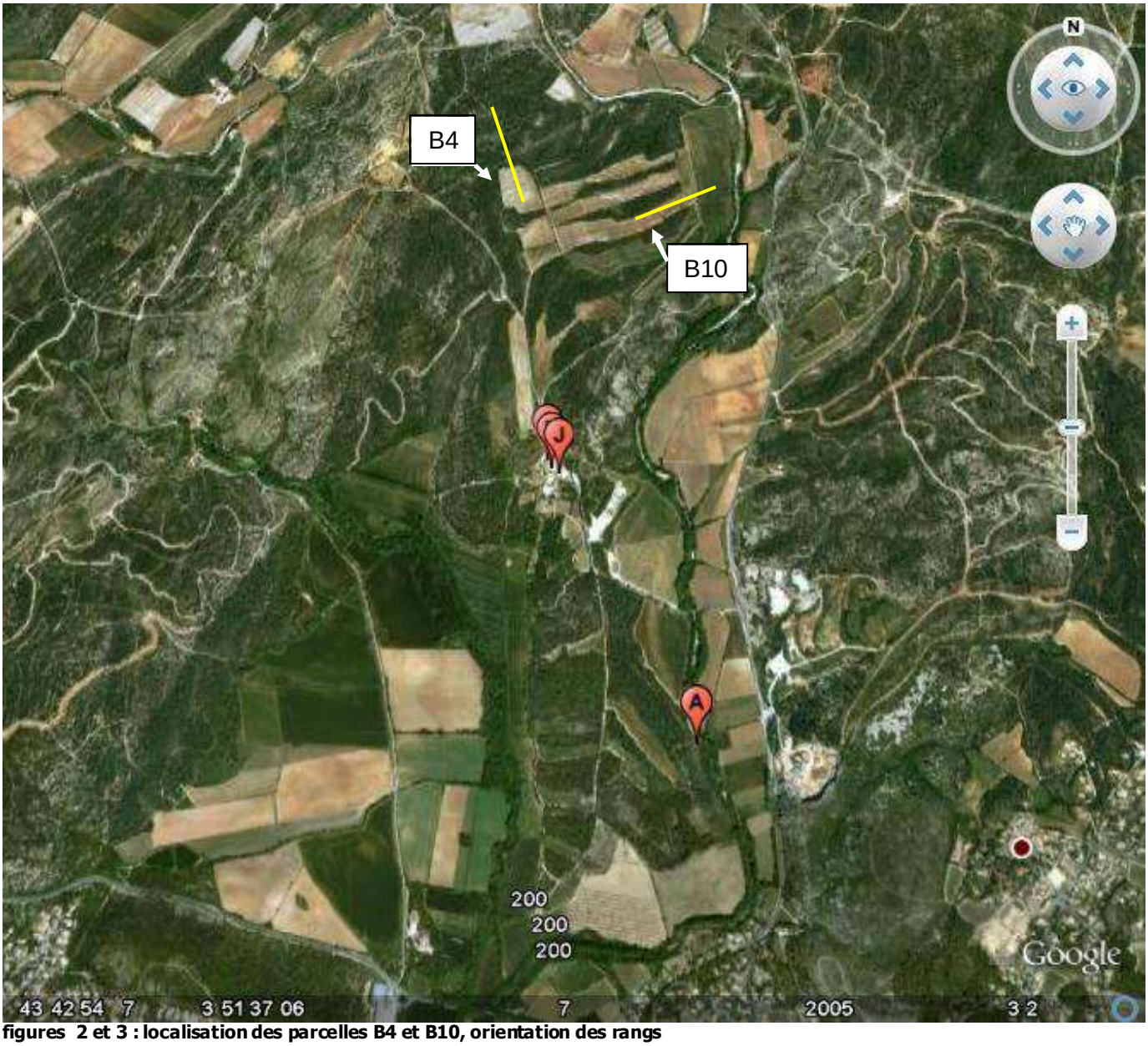


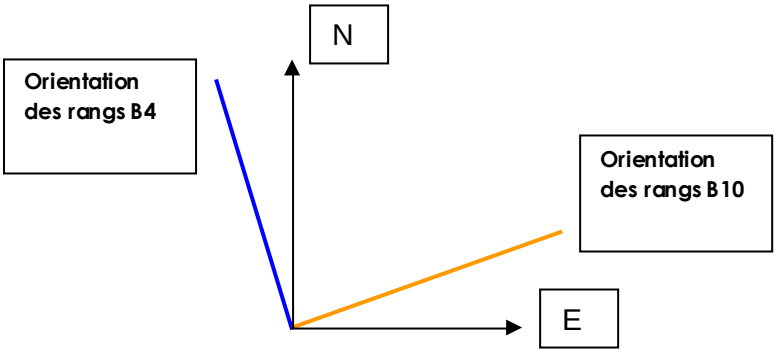
figure 1 : plan des parcelles du domaine de Restinclières

Les parcelles de vigne ont été gagnées sur la garrigue. Le sol est un sol de défriche classique sur calcaire dur, avec des passages où les bancs de calcaire affleurent (maintien de la garrigue) et des passages de marnes caractéristiques. Il n'y a pas eu de préparation du sol avant plantation à l'aide de ripper qui aurait permis une fracturation en profondeur des bancs calcaires ou de la marne.



figures 2 et 3 : localisation des parcelles B4 et B10, orientation des rangs

Les parcelles choisies sur le domaine de Restinclières sont la B4 et, depuis 2004, la B10. Les critères de choix ont porté sur le maximum d'homogénéité du sol (évaluée à la surface du sol), l'homogénéité du matériel végétal (vigne et arbres) , la valeur ajoutée attendue du bois.



La parcelle B4, suivie depuis 2001, est plantée en syrah-cormier (feuillus). Elle regroupe des plantations extensives (la rangée d'arbres remplace deux rangs de vigne) et intensives (la rangée d'arbres remplace un rang de vigne).
Les rangs sont orientés à peu près nord sud. Les rangs sont donc appelés en fonction de leur position par rapport aux arbres : E = « à l'est des arbres », CE = « à l'est des arbres, au centre du bloc vigne » etc …

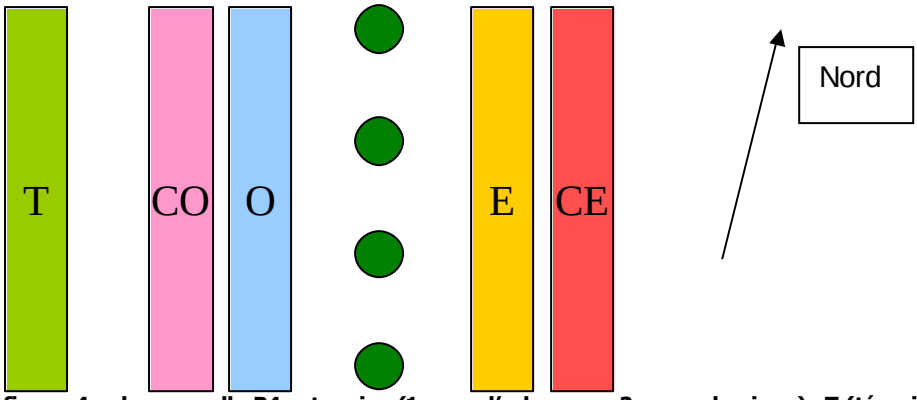


figure 4 : plan parcelle B4 extensive (1 rang d'arbre pour 2 rangs de vigne) , T (témoin) a été suivi jusqu'en 2005

Cette parcelle ne donnant toujours pas de différences significatives entre les modalités, il a été décidé de suivre en 2005, la parcelle B10 plantée en syrah-pins brutia (résineux). Les arbres se sont développés nettement plus rapidement que les cormiers. Cette parcelle est plantée en extensif uniquement. Les rangs sont orientés à peu près est-ouest. Ils portent donc les noms de N= « au nord des arbres » ; CN : = au nord des arbres, au centre du bloc vigne » etc …

En 2007, les modalités de la parcelle B10 ont été doublées par « cerclage » des arbres centraux. L'idée était de limiter la concurrence en coupant les racines des arbres. Ce cerclage a été obtenu par le passage d'une dent de sous-soleuse à 1m75 des arbres et des rangs de vigne immédiats (N et S). 3 répétitions « cerclé » et « non cerclé » ont été réalisées.

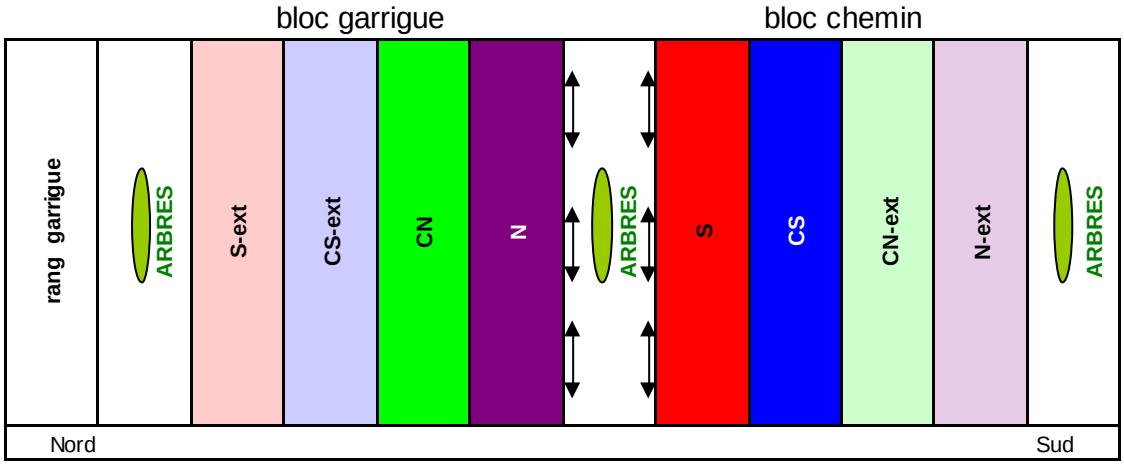
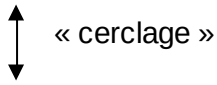


figure 5 : plan de la parcelle B10 et localisation des sous-solages



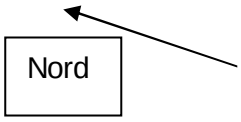


figure 6 : Visite de la parcelle B10 avec un groupe de conseillers et de viticulteurs du Vaucluse , 9 juillet 2009, 10h30. à gauche de la rangée d'arbres, les rangs N puis CN ; à droite les rangs S puis CS.

figure 7 : Parcelle B10, syrah-cornier, 9 Juillet 2009, 9h30

2.2 paramètres suivis en 2009

Suivi du développement de la vigne

Les principaux stades phénologiques (date du stade pointe verte (05 sur l'échelle d'Eischorn et Lorenz), de floraison (stade 23), de véraison (stade 36)) et comptage des apex en pousse active, pousse ralentie et secs ou chus, selon le protocole de W.Trambouze, B rodriguez-lovelle et O Jacquet suivi du calcul de l'indice d'arrêt de croissance (W.Trambouze et E.Franquet) sont suivis sur chacune des modalités.

Interception de la lumière et conductance stomatique :

La conductance stomatique correspond à la conductance stomates ouverts, elle est notée gs, pour les couverts herbacés comme pour les plantes isolées, la conductance stomatique, fonction du degré d'ouverture des stomates, est le facteur essentiel de la régulation de l'émission d'eau.

Le matériel utilisé pour ses mesures est un poromètre AP4 prêté par Sup Agro.
Ce système mesure le temps nécessaire à une surface connue de feuille, pour changer le taux d'humidité d'une petite cavité posée contre elle. Les températures de la feuille et de la chambre sont mesurées. Un calibrage préalable est réalisé à l'aide d'un papier filtre humide et d'une plaque percée de trous uniformes à densité variable (résistance connue) permettant de connaître la résistance stomatique de chaque côté de la feuille.

Il a été réalisé cinq mesures dans la même journée (18 août 2009), car la conductance varie au cours de la journée suivant la position de ses stomates. Ainsi une cinétique tout au long de la journée a pu être établie. Pour cela il a été pris un échantillonnage de 15 feuilles adultes appartenant à des rameaux principaux et situées dans la partie haute du feuillage bien exposé à la lumière au sud des rangs pour la B10, et sur la face éclairée de la souche : est ou ouest selon l'heure pour la B4.

Suivi de la maturité :
Les prélèvements de 200 baies sont réalisés de part et d'autre du rang, à raison de 2 baies sur les ailes des grappes, 2 baies au centre et une baie sur la queue de la grappe. Les analyses sont faites par le laboratoire de l'ICV à Lattes.
Il a été réalisé 3 analyses avant récolte et une lors de la récolte.

Les paramètres classiques de la maturité physiologiques et phénoliques (méthode ICV) ont été suivis. L'azote assimilable pour la B10 a été ajouté à ces données, de façon à rechercher un indice supplémentaire signant la concurrence éventuelle d'azote engendrée par les arbres.

Mesure du $\delta^{13}C$:
Cet indicateur mesuré sur les sucres des moûts à maturité fournit une idée très précise du niveau de contrainte hydrique subi par la vigne pendant la phase de maturation.
L'atmosphère comporte 98.9% de ^{12}C et 1.1% de ^{13}C. Les enzymes de la photosynthèse (et notamment la RUBISCO) présentent une affinité supérieure pour le ^{12}C, plus léger. Mais, lorsque la résistance stomatique croit (stomates fermés) cette préférence est moindre, une fois le ^{12}C épuisé elles consomment le ^{13}C présent dans la chambre sous-stomatique. Le ^{13}C quantifie cette discrimination depuis la synthèse des acides organiques jusqu'à la maturité du raisin. En situation de contrainte hydrique la vigne incorpore du carbone 13 en plus grande proportion. Lorsque les valeurs sont autour de –20 la vigne subit une très forte contrainte hydrique et autour de –27 il n'y a pratiquement pas de contrainte hydrique.
Les prélèvements sont faits souche à souche dès que la teneur en sucres des baies atteint environ 150g. Le contenu isotopique est déterminé à l'aide d'un spectrophotomètre de masse à flux continu. Les analyses sont faites par l'INRA de Montpellier.

Données agronomiques à la récolte

Les caractéristiques à la récolte sont relevées souche à souche. Pour la parcelle B10, l'ensemble de toutes les souches des 4 rangs autour du rang d'arbre central sont récoltées individuellement. Le nombre de grappe à la souche, le poids à la souche sont relevés, le poids unitaire d'une grappe est calculé. La parcelle B10, plantée en syrah, n'échappe pas au problème de dépérissement du cépage syrah. Certains paramètres sont rapportés à une unité « m linéaire de vigne « et non à la souche. Certaines souches peuvent de fait, avoir un « territoire » plus grand que d'autres à explorer.
Les niveaux de pression phytosanitaire sont également notés à la souche.

Données agronomiques à la taille

De la même façon que pour la récolte, les paramètres de nombre de sarments et poids de bois de taille sont mesurés, les paramètres de vigueur (poids unitaire d'un sarment) et de puissance (0,5*poids de bois de taille + 0,2*poids de récolte) sont calculés.

Résultats sur la parcelle B10 syrah-pin brutia

3.1 Millésime 2009

3.1.1 Suivi du développement végétatif de la vigne

Aucune différence n'est mise en évidence dans le comportement végétatif des rangs en fonction de la proximité des arbres.

3.1.2 Interception des rayons lumineux et conductance stomatique

Les mesures de lumière réalisées le 18 août 2009 montrent facilement l'impact de la position des rangs de vigne par rapport au rang d'arbre. Toute la matinée les rangs au nord des arbres (N et CN) ont reçu moins de lumière que les rangs au sud. L'inversion pour l'après midi vient du fait que les rangs ne sont pas tout à fait orientés est ouest (plutôt E-NE-E_ O-SO-O, cf plan de situation des parcelles p3). Les mesures ont toujours été faites au sud des rangs de vigne, elles ont donc été réalisées sur des feuilles légèrement plus à l'ombre sur les rangs S et CS que sur les rangs N et CN en après midi.

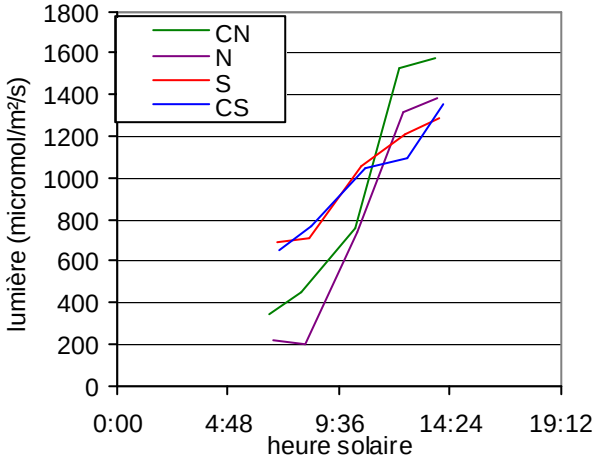


figure 8 : mesure de la lumière reçue par les feuilles

Les mesures de conductance ne montrent pas vraiment de différences entre les modalités (en prenant en compte les idc qui compliquent la lecture). gs est exprimé en mmol.m-2s-1.
Les valeurs globales des mesures se rapprochent des valeurs pour des souches subissant une assez forte contrainte hydrique du style stress. Une gamme de valeur a été établie par Maroco, Rodriguez, Lopez, Chavez (Csiro 2002), positionnant la conductance de souches irriguée à 400 mmol/m²/s environ et celle de souche sous stress hydrique à un peu plus de 100mmol/m²/s.
Les différences entre modalités sont significatives le matin entre les rangs proches des arbres N et S. Cette différence est cependant sujette à discussion, en effet les mesures de lumière pour le rang N montrent une insuffisance de lumière qui pourrait ne pas permettre la mesure de conductance avec l'appareil AP4. Les mesures sont significativement différentes, entre les rangs au nord et les rangs au sud, à 10h, heure solaire, alors que le soleil est vraiment dans l'axe des arbres.
A cette heure là et en tendance pour le reste de la journée, les rangs au nord ont une transpiration d'eau plus faible au cours de cette journée d'août. Elles ont une meilleure économie d'eau.

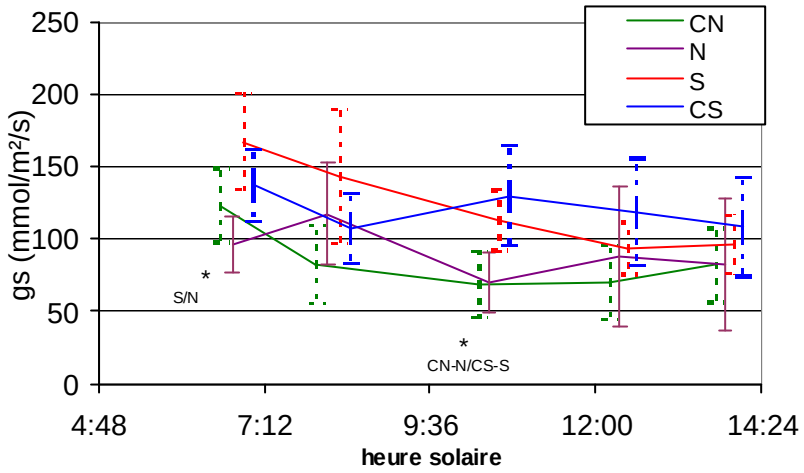
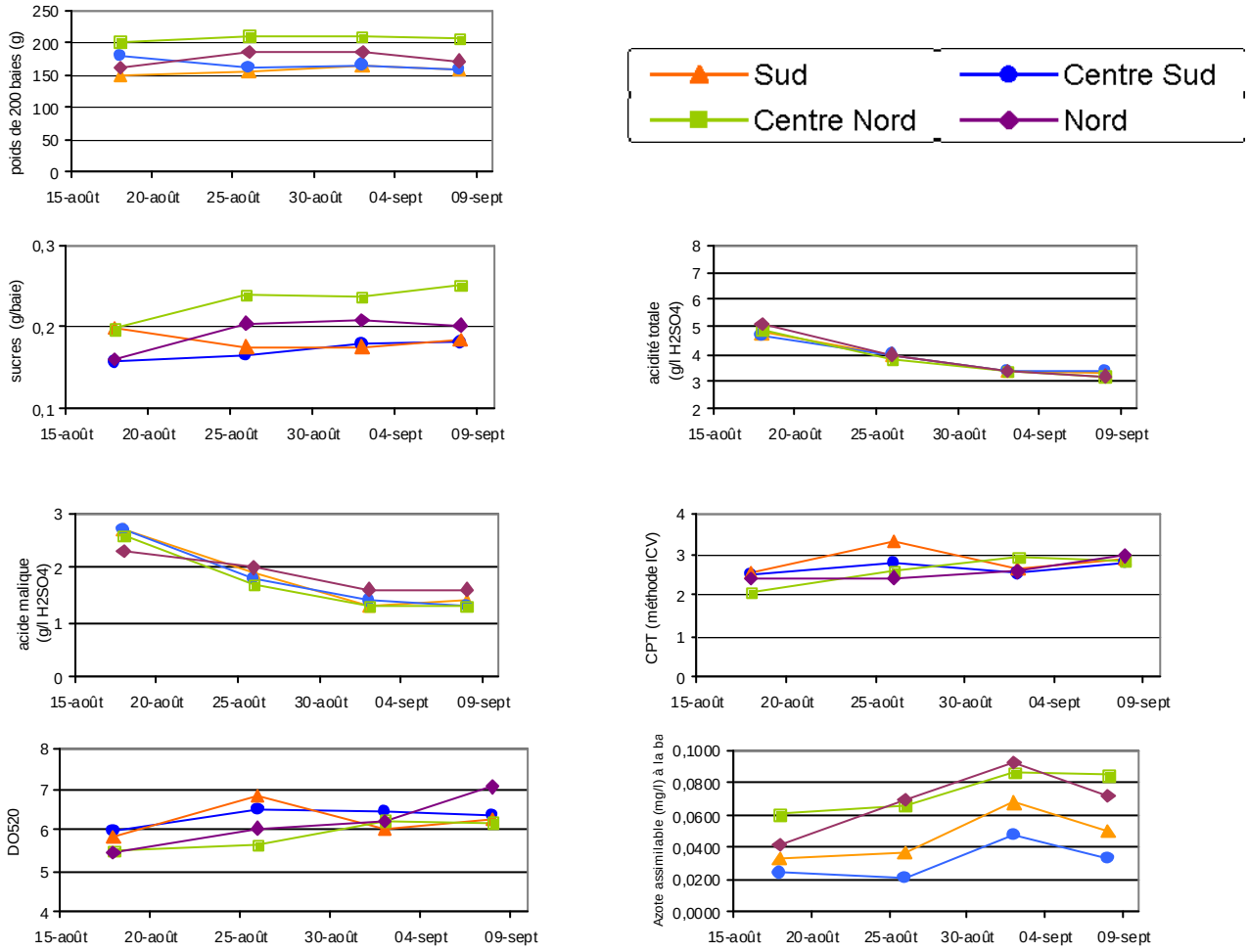


figure 9 : mesure de la conductance stomatique en fonction de l'heure

3.1.3 Maturation des raisins

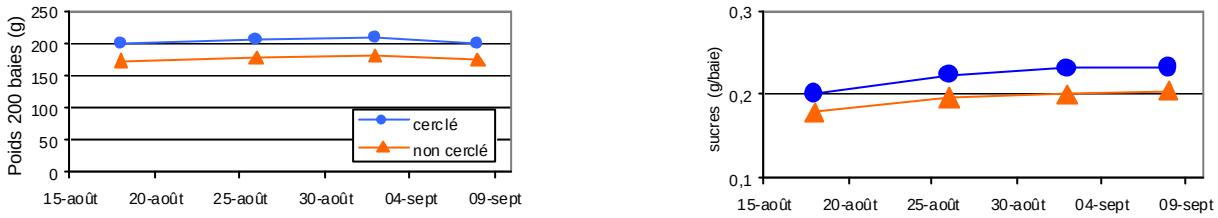
Les figures suivantes montrent l'évolution de la maturation physiologique et phénolique pour un échantillon de 200 baies et à la baie (prend en compte les effets de concentration).
Les baies sont plus grosses pour les rangs N et CN. N, proche des arbres donc sous leur influence, a un poids de 200 baies plus petit que CN. Par contre, pour ce millésime, il n'y a pas de réelles différence entre les rangs au sud des arbres. Outre le poids des baies, la concentration en sucres des baies montre également un gradient entre CN, N et les rangs au sud. Les baies des rangs CN et N sont plus riches en azote assimilable que CS et S. Pour la première fois, il est mis en évidence une différence entre les rangs au sud sur la quantité d'azote assimilable à la baie.

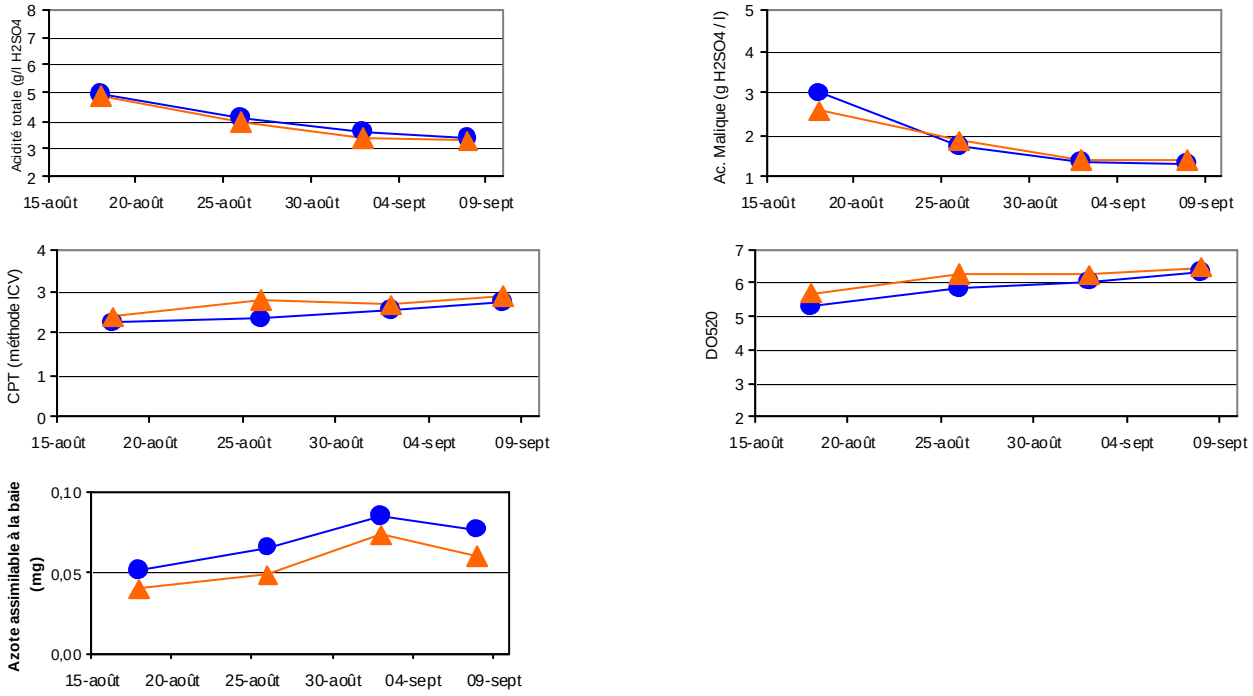
Sur les graphiques suivants, les différences sont regardées uniquement en fonction des rangs.



Figures 10 : suivi de la maturation des raisins de la parcelle B10

En dissociant les parties cerclées et non cerclées, tous rangs confondus, les figures suivantes montrent des baies plus grosses pour les parties cerclées avec une quantité de sucres à la baie plus importante et une quantité d'azote assimilable à la baie plus importante.





Figures 11 : suivi de la maturation des raisins de la parcelle B10 en séparant les modalités cerclées et non cerclées, tous rangs CN, N, S et CS confondus

Conclusions

- **L'impact de l'orientation des rangs (nord et sud) par rapport au rang d'arbre se traduit pour 2009 sur les poids des baies, la concentration de sucres à la baie et l'azote assimilable.**
- **L'impact de la distance du rang de vigne par rapport au rang d'arbre est très net sur les CN et N et met en avant une concurrence nette des arbres sur le rang proche. Par contre CS et S sont relativement peu différents et faibles, traduisant un impact des arbres perceptible y compris à plus de 5m.**
- **L'impact du cerclage des arbres de l'hiver 2006/07 est positif sur le poids des baies et l'accumulation des sucres à la baie et l'azote assimilable.**

3.1.4 Contraintes hydriques pendant la maturation

Les mesures de $\delta^{13}C$ montrent un effet du cerclage inexistant sur les rangs N et CS. les souches cerclées pour les rangs CN et S sont en plus grand confort hydrique.
Les rangs CN et N sont dans une gamme de $\delta^{13}C$ de contrainte importante. Ces rangs sont toujours plus feuillus et plus chargés que les autres.
Les rangs au sud, très peu chargés et avec une surface foliaire faible sont en plus grand confort hydrique.

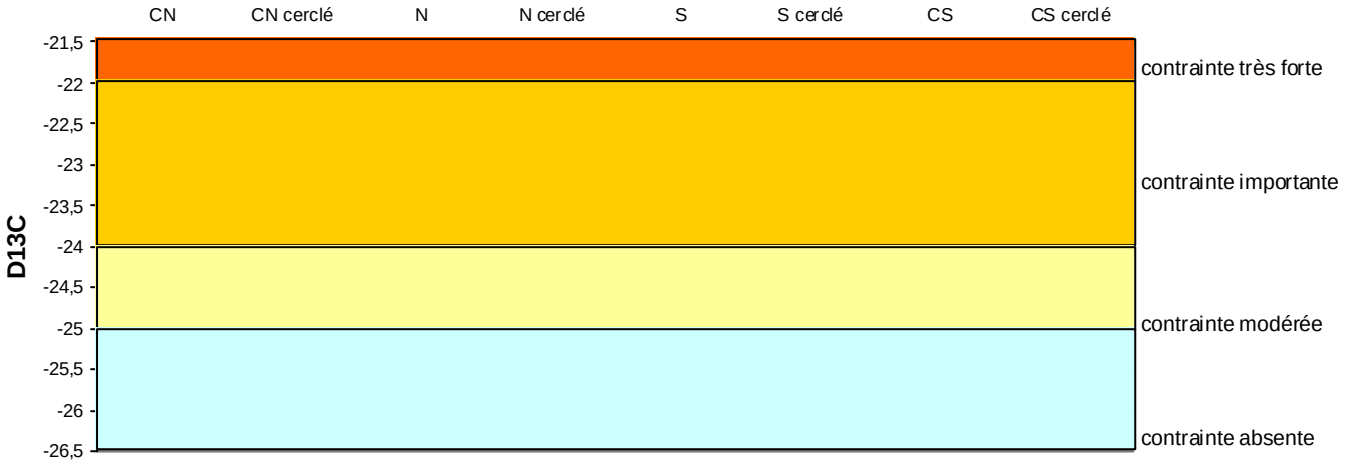
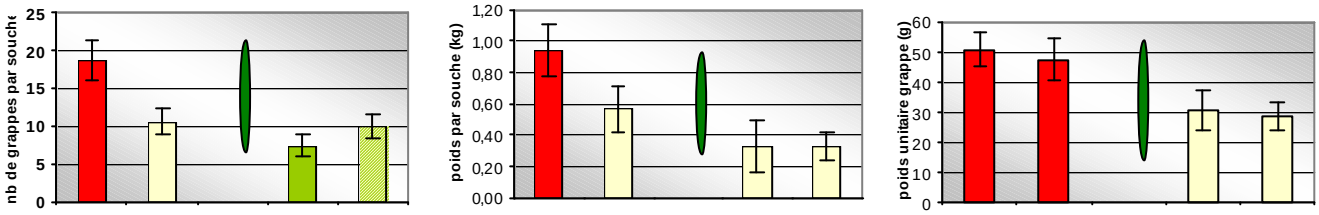


Figure 12 : mesure des $\delta^{13}C$ en fonction des rangs et des modalités cerclées et non cerclées

3.1.5 Récolte

Les rangs centraux ont été contrôlés. Les résultats montrent toujours aussi clairement la localisation des rangs moins productifs proche des arbres. Le bloc au sud des arbres est, comme chaque année, moins productif que le bloc au nord des arbres.



Figures 13 : caractéristiques de la vendange sur la parcelle B10.

figure 14 : Parcelle B10, lors de la vendange, ombrage des rangs nord à 9h du matin

3.1.6 Taille

La taille 2009 n'a pas encore été réalisée à la date du rapport. Elle le sera en décembre 2009 / janvier 2010.

3.2 Evolution inter annuelle des paramètres observés

3.2.1 Maturité à la récolte

L'évolution de la maturité des parties non cerclées est traduite par les graphiques suivants. Ils mettent en évidence les effets millésimes mais également la proximité des rangs d'arbre sur les rangs de vigne et l'orientation de ces rangs.

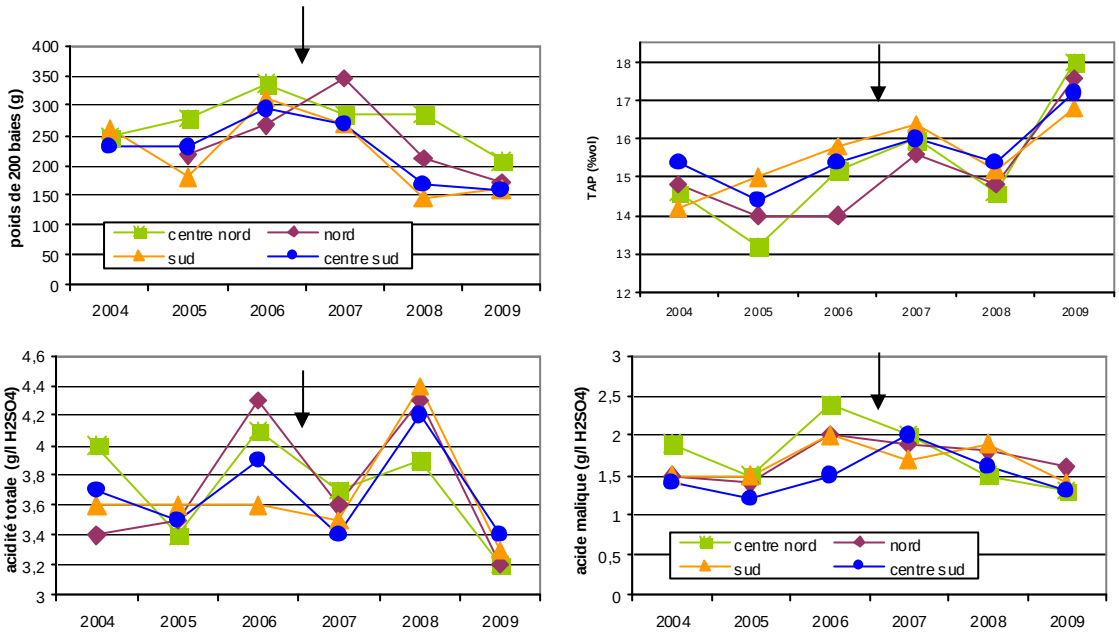
Il est difficile de voir une évolution de l'impact des rangs sur ces courbes, il s'agit en effet des analyses à la récolte dont la date est donnée par l'organisation de la cave coopérative. Cette année 2009, par exemple, les souches auraient dues être récoltées plus tôt, le délai supplémentaire n'a fait qu'augmenter la concentration par flétrissement des baies (perte de poids, augmentation TAP, CPT et anthocyanes).

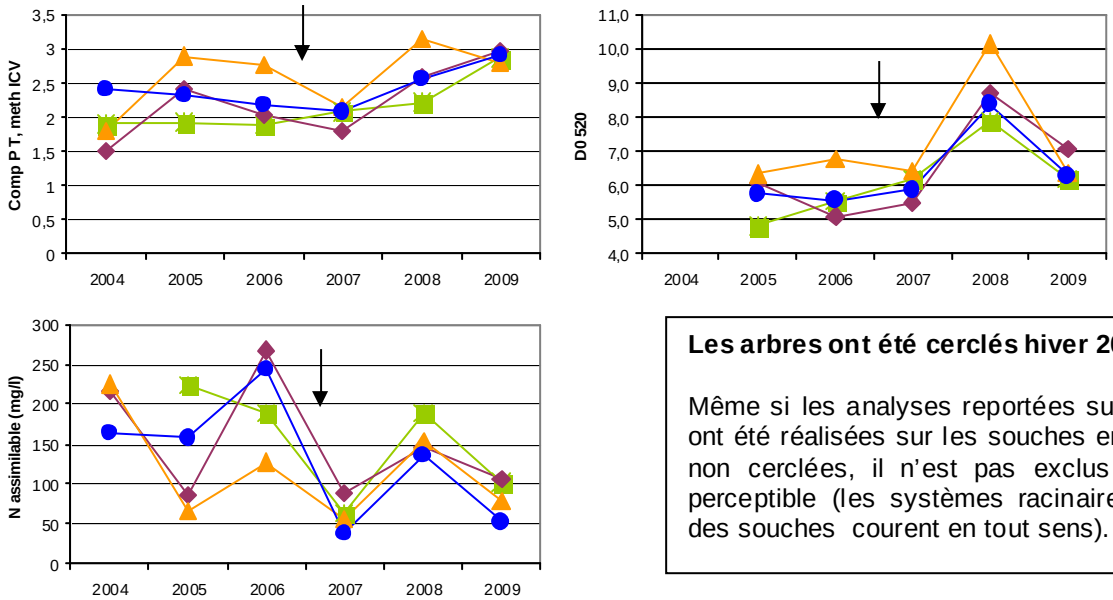
Le rang centre nord, rang éloigné des arbres de 6,25m a toujours eu des baies plus grosses . Le TAP, inférieur dans les premières années, se retrouve dans la moyenne voir supérieur. En concentration de sucre, ce rang se détache des autres par une concentration à la baie importante. Il est également globalement moins riche en CPT et en anthocyanes. Le cerclage des arbres ne semble pas l'avoir affecté.

Le rang Nord, rang éloigné de 3,75m des arbres avait des baies de taille plutôt moyenne pour la parcelle , puis suite au cerclage, les baies ont été pesées beaucoup plus lourdes pour rejoindre rapidement la moyenne de la parcelle. Le TAP est toujours resté faible à moyen ; en concentration de sucre, la modalité est cependant plus élevée que les modalités S et CS. Comme le rang CN, les mesures de maturité phénolique placent la modalité à moyenne à faible pour la parcelle.

le rang sud, rang à 3,75m des arbres, le plus affecté au niveau de la récolte, a les baies les plus petites, un TAP globalement un peu supérieur jusqu'en 2007, puis de plus en plus faible. de même, les synthèses de polyphénols et d'anthocyanes sont élevées sauf pour cette dernière année, mais à temporiser par la taille des baies et les poids de récolte. La quantité d'azote assimilable est toujours faible pour cette modalité.

Le rang centre sud, rang éloigné de 6,25m est globalement peu différent du rang sud pour les paramètres de maturation physiologique. Il n'a jamais montré de différence de maturité phénolique comme a pu le faire le rang sud au début du suivi.





Les arbres ont été cerclés hiver 2006/07.

Même si les analyses reportées sur ces graphiques ont été réalisées sur les souches en face des zones non cerclées, il n'est pas exclus qu'un effet soit perceptible (les systèmes racinaires des arbres et des souches courent en tout sens).

figures 15 : évolution inter annuelle des paramètres de maturation à la récolte, parcelle B10

3.2.2 contraintes hydriques pendant la maturation

Au delà d'une distinction entre modalités, l'allure globale des courbes saute aux yeux et le gradient de $\delta^{13}C$ vers des mesures de contraintes hydriques pendant la maturation plus faible vers les rangs Sud est marqué et se répète chaque année.

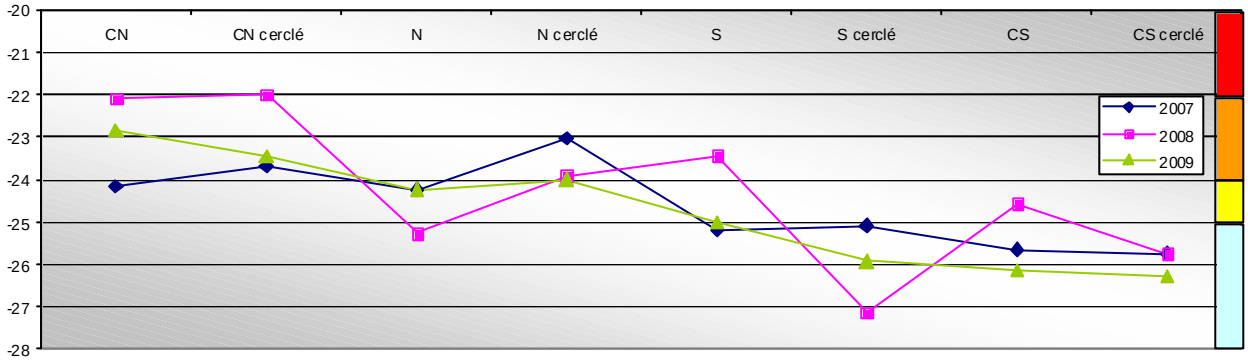
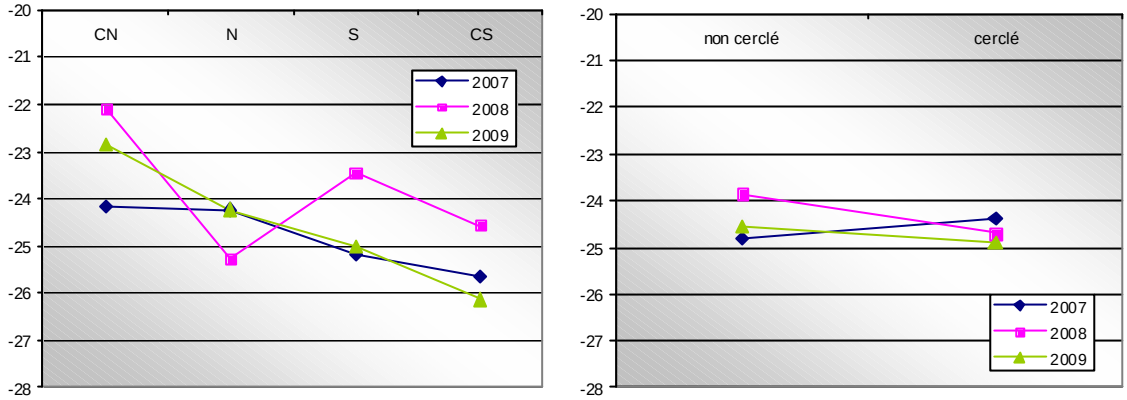


figure 16 : $\delta^{13}C$ mesuré pendant 3 millésimes (2007 à 2009) sur chaque modalité , zone rouge : forte contrainte hydrique, orange : modérée, jaune : faible, bleu : absence de contrainte

L'effet des rangs est donné sur le graphique suivant, ne prenant pas en compte l'effet cerclage. Les courbes 2007 et 2009 ont une pente régulière de CN à CS. La courbe 2008 est plus perturbée notamment par la mesure du $\delta^{13}C$ du rang N. Sans celle ci, 2008 aurait pu être mise globalement dans un millésime à plus forte contrainte que les 2 autres avec un effet sol plus marqué que l'effet distance des arbres. Mise à part la courbe 2008, l'effet du cerclage sur le $\delta^{13}C$ est peu perceptible, tout rang confondu.



figures 17 : $\delta^{13}C$ mesuré selon les rangs et sur 3 millésimes et selon les modalités cerclées / non cerclées sur 3 millésimes

Les graphiques suivants mettent en évidence 2008, encore une fois, avec de forts écarts entre certaines des modalités. Les écarts existent uniquement sur N en 2007, et sur S en 2009.
L'inversion des écarts mis en évidence en 2008 se retrouve sur ces courbes : le cerclage des arbres côté nord entraine un meilleur confort hydrique pour les modalités S et CS et un moins bon confort hydrique pour la modalité N , d'où l'hypothèse en 2008 de la section de racines d'arbres côté S mais de la section de racines de vigne côté N.

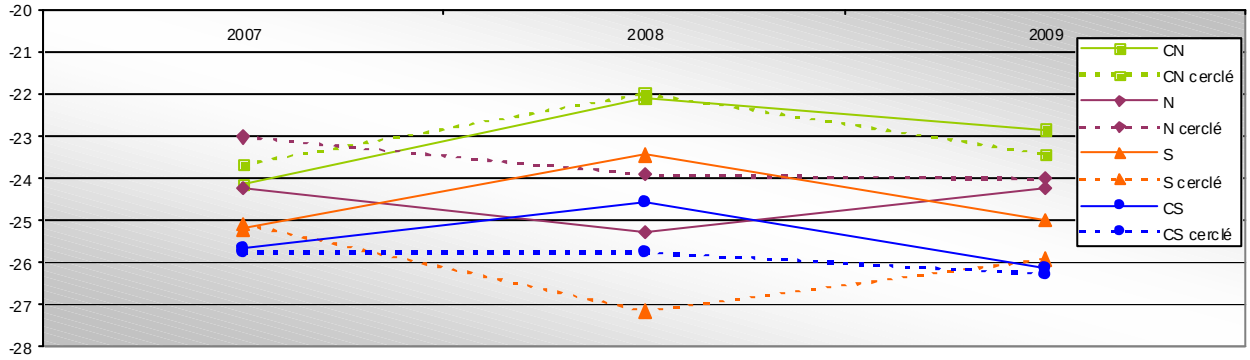
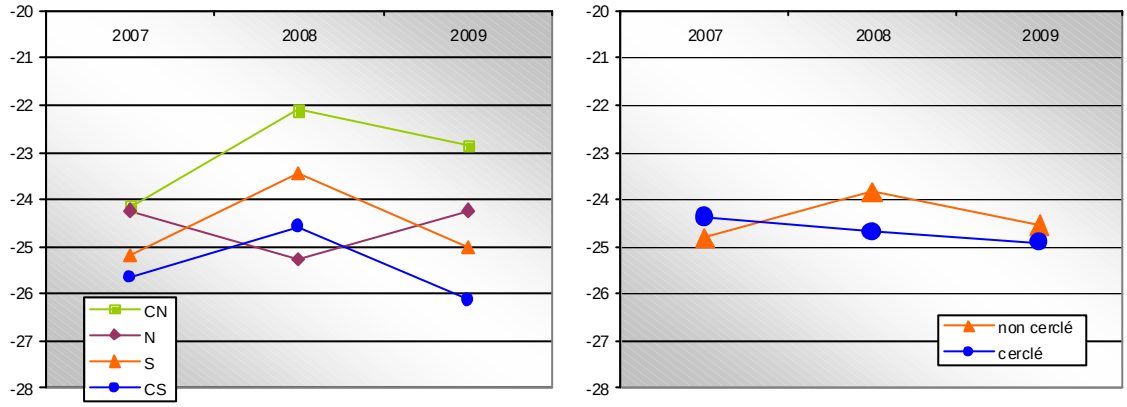


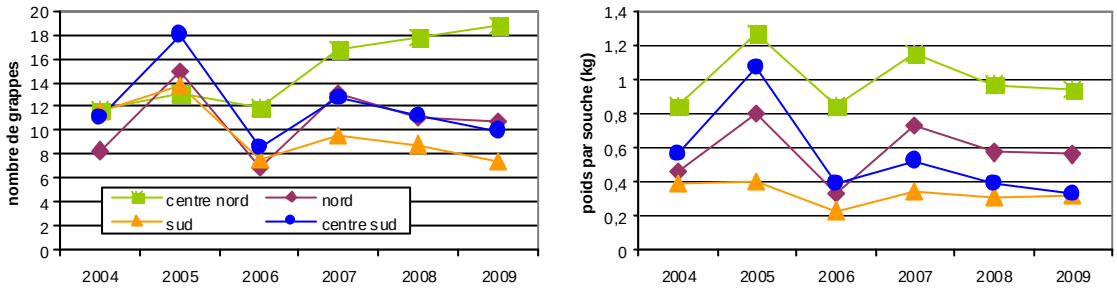
figure 18 : évolution du $\delta^{13}C$ par modalité depuis le cerclage hiver 2006/07

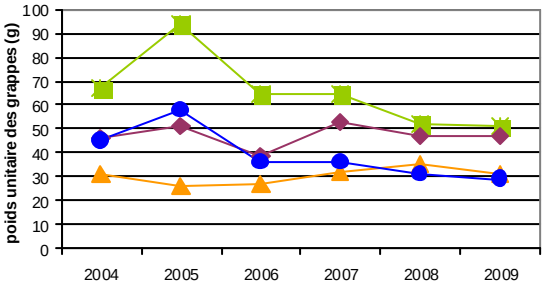


figures 19 : évolutions des modalités sans cerclage depuis 2006/07 et uniquement sur le cerclage sans distinction des rangs

3.2.3 Récolte

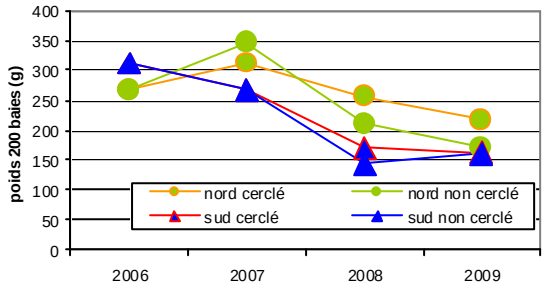
Les figures suivantes montrent les évolutions sur 6 millésimes des paramètres de récolte.
Les rangs centraux nord et sud se caractérisent par un poids unitaire des grappes chutant au fur et à mesure des millésimes. L'effet du cerclage sur les poids des grappes S et N n'est pas perceptible.
Le nombre de grappes est en chute régulière pour N, S et CS, après une légère augmentation suite au cerclage des arbres et en augmentation pour CN.
Un gradient de production semble se stabiliser, dissociant clairement les 2 rangs au sud des arbres, puis le rang au nord des arbres à 3,75m d'eux, puis le rang le plus loin au nord des arbres.
Les graphiques donnent une impression d'une certaine stabilisation, il serait intéressant de refaire passer le coutre autour des arbres. Si une nouvelle perturbation se fait ressentir, on pourrait mettre en évidence un effet arbre, si la stabilisation persiste, les graphiques (comme ceux d'autres paramètres) pourraient mettre plutôt en avant un effet sol prédominant.

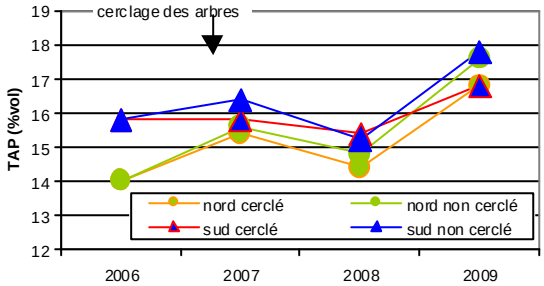


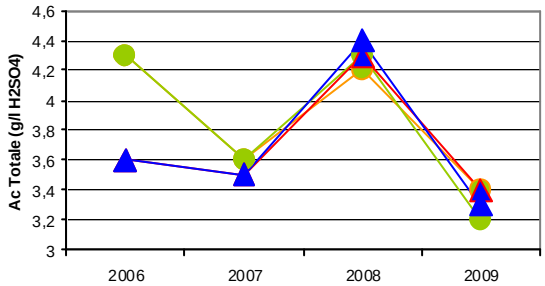


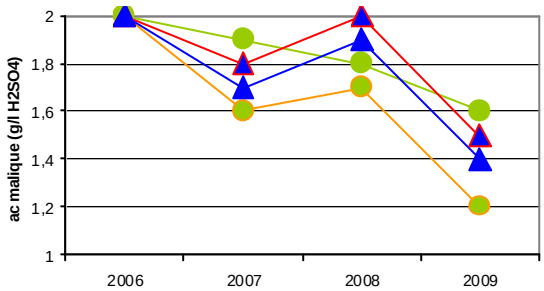
figures 20 : évolution des paramètres de récolte sur les millésimes de suivi 2004 à 2009

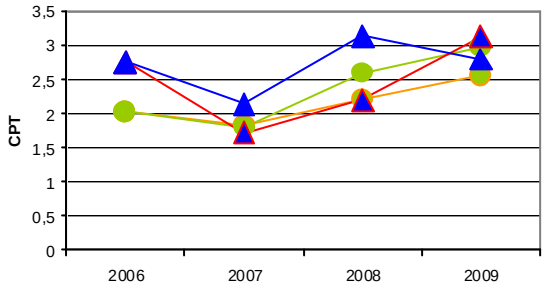
En dissociant les zones cerclées et les zones non cerclées, sur le millésime 2006 qui sert de point 0 et les millésimes suivants.
Les contrôles de maturité montrent que les différences perdurent légèrement sur les modalités au nord des arbres. Les modalités sud sont très proches voire identiques.

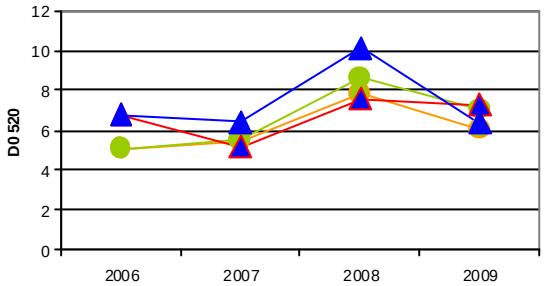


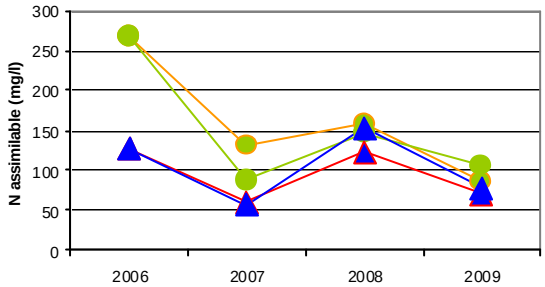






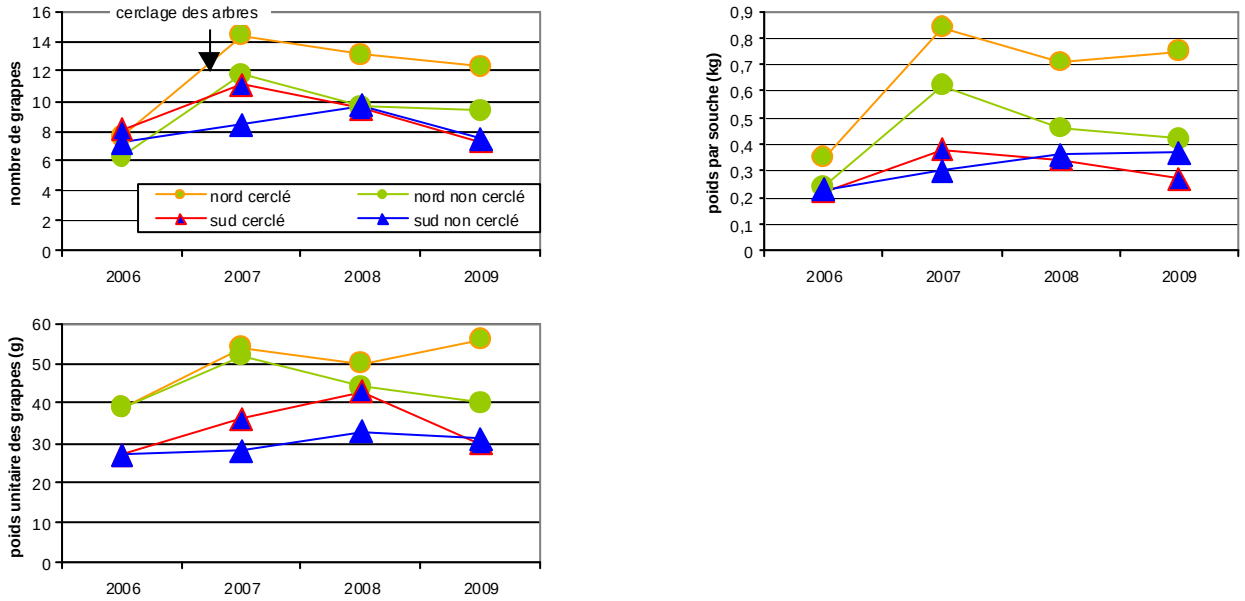






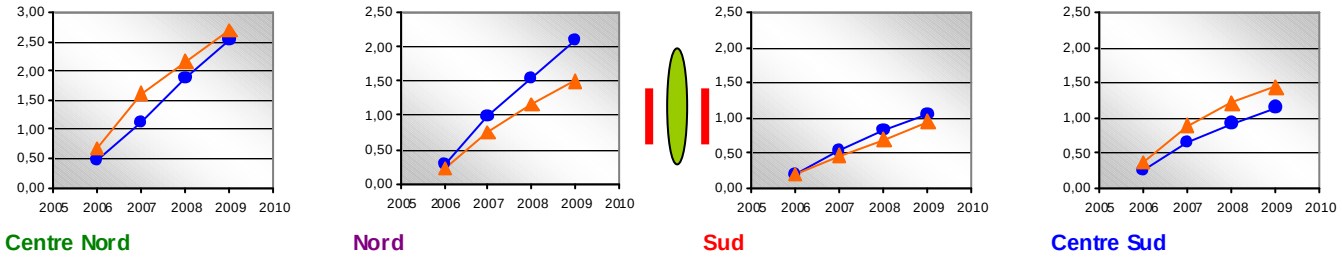
figures 21 : évolution des paramètres de récolte des rangs N et S e dissociant les zones cerclées des zones non cerclées, parcelle B10

La différenciation des zones n'entraîne pas de différence dans les résultats sur le rang sud. Par contre, les paramètres de contrôles de récolte différencient systématiquement, plus ou moins nettement selon les millésimes les rangs nord. Le cerclage des arbres a un effet net sur la récolte des souches du rang N, en augmentant cette dernière.



figures 22 , évolution des paramètres sur les rangs S et N en fonction des modalités cerclées et non cerclées, de 2006 à 2009

Présenté différemment , le cumul des poids de récolte sur ces 4 millésimes montre les évolutions des zones cerclées (rond bleu) par rapport aux zones non cerclées (triangle orange). L'écart progresse uniquement pour la modalité Nord.



figures 23 , cumul des poids de récolte au m linéaire sur les rangs nord et sud de 2006 à 2009

3.3 Conclusions

La récolte 2009 est stabilisée par rapport aux récoltes précédentes. Réalisée tardivement pour ce millésime 2009, les caractéristiques sur le raisin relèvent plutôt de la concentration sur baie que de l'évolution de maturité.

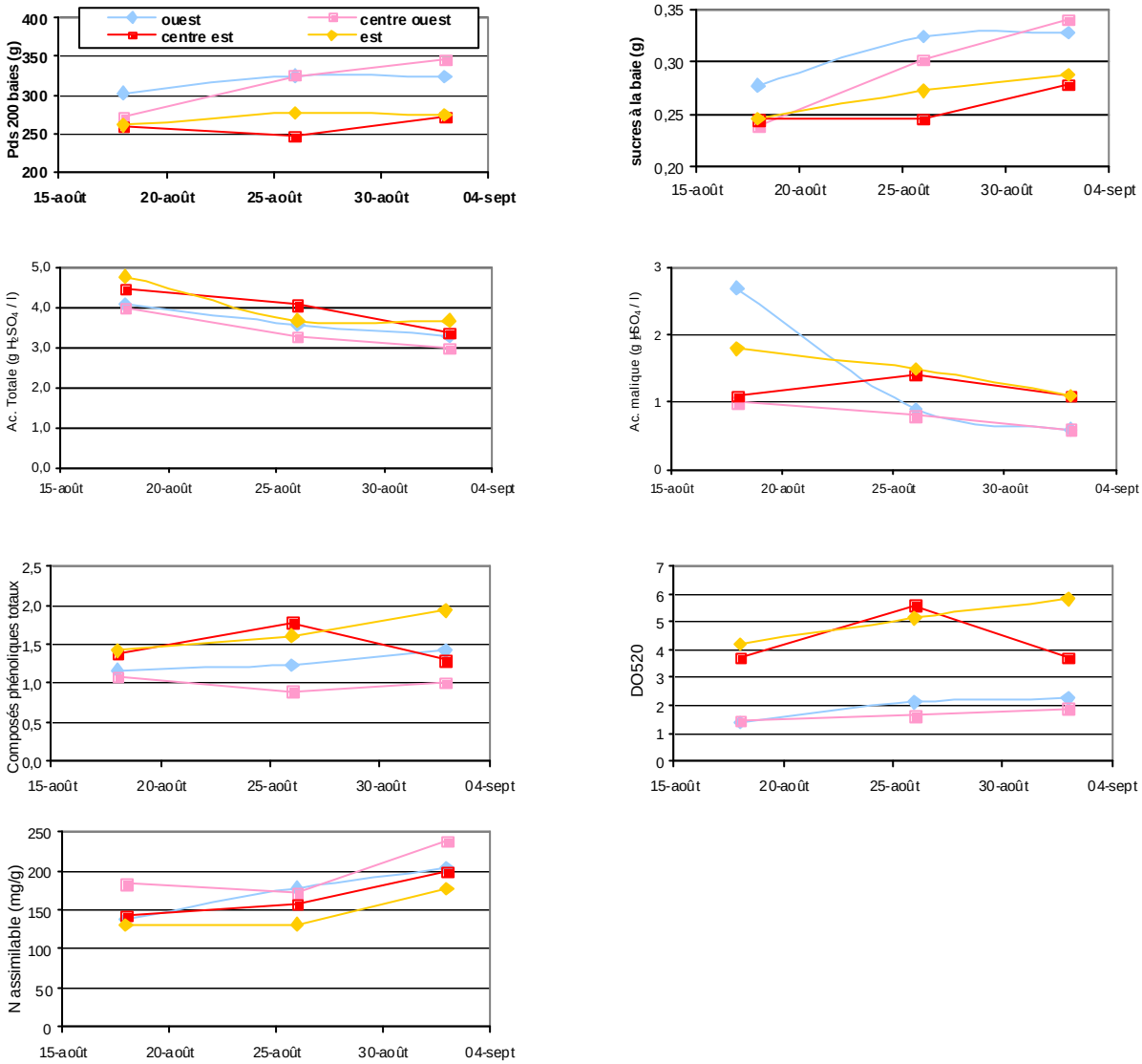
Les effets du cerclage des arbres en hiver 2006-07 par le passage d'une dent de sous-soleuse à 1,75m des arbres et des rangs de vigne les plus proches sont différents d'un côté des arbres à l'autre. Les diverses observations et mesures laissent toujours à penser que le système racinaire des arbres et de la vigne n'est pas identique de part et d'autre.

Résultats sur la parcelle B4 : syrah – cormier

4.1 Maturation des raisins 2009

Les figures suivantes montrent l'évolution de la maturation physiologique et phénolique pour un échantillon de 200 baies et à la baie (prend en compte les effets de concentration). Les baies des rangs à l'ouest des arbres (O et CO) sont nettement plus grosses que les rangs à l'est des arbres. Il n'y a pas de différences entre les rangs proches des arbres par rapport à ceux qui sont plus éloignés : O/CO et E/CE. Outre le poids des baies, la concentration en sucres des baies montre également le même gradient. L'acidité à la baie est légèrement moins marquée pour ces rangs. L'acide malique est également un peu plus dégradé à l'ouest des arbres qu'à l'est des arbres.
Les quantités d'anthocyanes et de polyphénols totaux sont également très différentes.

Sur les graphiques suivants, les différences sont regardées uniquement en fonction des rangs.



Figures 27 : suivi de la maturation des raisins de la parcelle B4

les graphiques suivants mettent en perspective les contrôles de maturité qui avaient été réalisés à la récolte de 2001 à 2005 et ce contrôle 2009.

Le rang CE avait toujours présenté un poids de 200 baies inférieur et un TAP dans la moyenne.
le rang E semblait aller plutôt vers un poids de 200 baies plutôt faible en 2005, il est nettement plus faible en 2009
Les rangs O et CO étaient plutôt fluctuants en poids de 200 baies et un peu faible en degré potentiel.

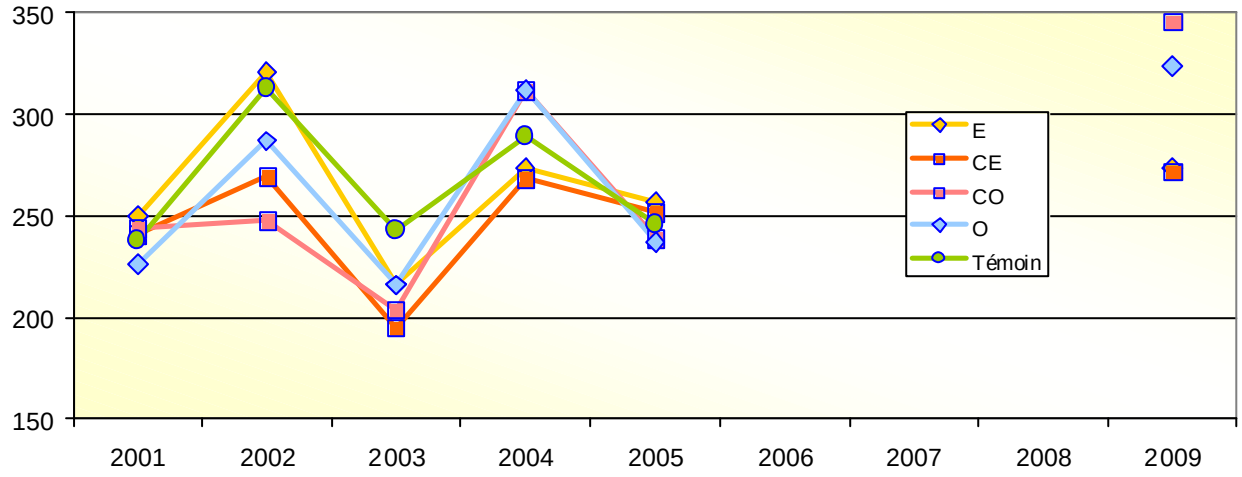


figure 28 : évolution des poids de 200 baies (g) à la récolte , parcelle B4 extensive

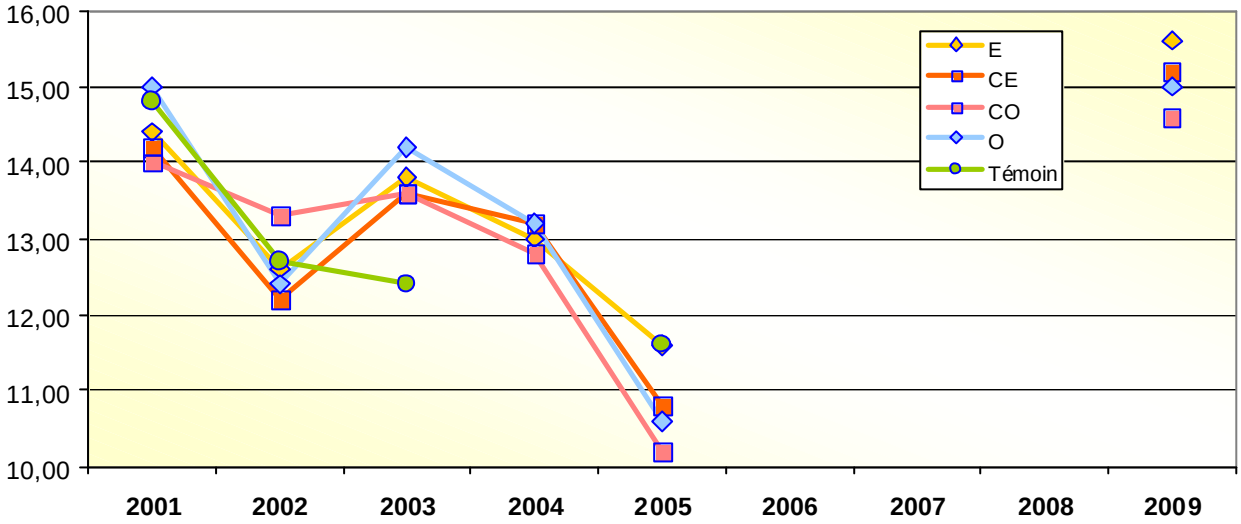


figure 29 : évolution du TAP (%vol) à la récolte, parcelle B4 extensive

Une mauvaise compréhension lors des vendanges a entraîné l'impossibilité de compter et peser la récolte des souches suivies.

Conclusions

Une certaine différenciation des rangs au niveau des contrôles de maturité pourrait commencer à être observée.
Faut-il voir dans ces mesures un effet du soleil, plus fort en après midi et qui impacterait plus la maturité des raisins ? La question mérite d'être posée, mais cependant l'ombre portée des arbres ne paraît pas importante, le feuillage est relativement clairsemé.
Faut-il voir , comme pour la B10, un effet de l'hétérogénéité du sol ?

Il est important de prévoir un suivi complet pour 2010.

4.2 Contraintes hydriques pendant la maturation

Les mesures de $\delta^{13}C$ sur cette parcelle mettent en avant une parcelle fortement contrainte (même matériel végétal que la B10 ; sol , orientation, arbres différents).
Au niveau visuel, le feuillage ne souffrait pas, il n'y avait pas de défoliation, ni de jaunissement des feuilles. Contrairement à la parcelle B10, le feuillage est abondant et du coup plus dépensier en eau.

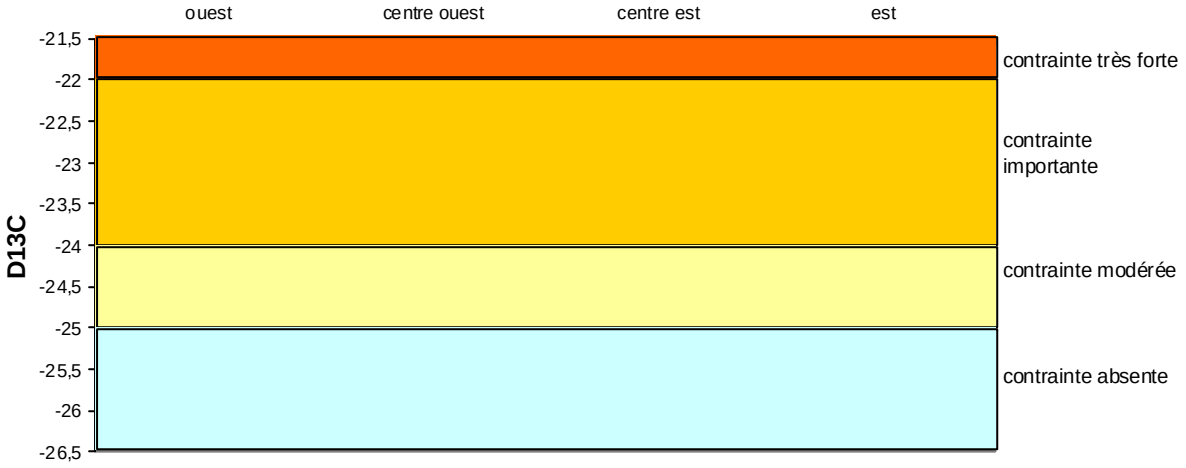


Figure 30 : mesure des $\delta^{13}C$ en fonction des rangs

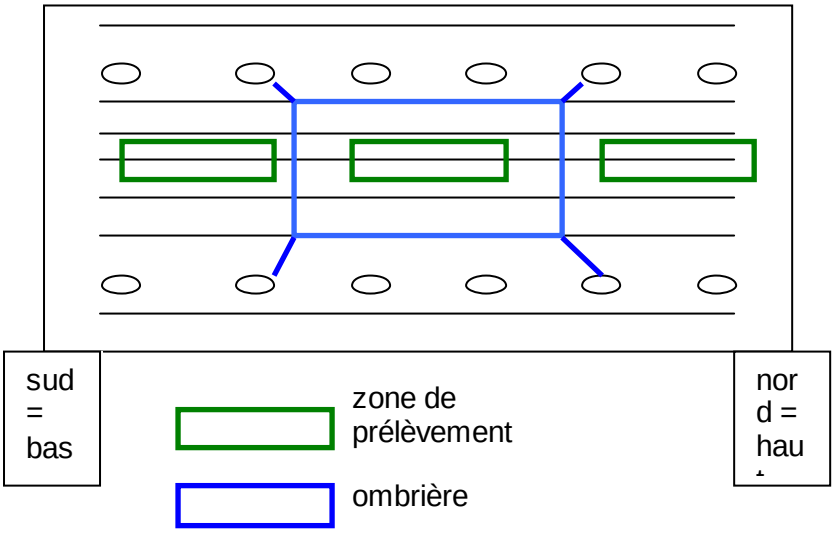
Résultats sur la parcelle B4 : syrah ombrée – soleil

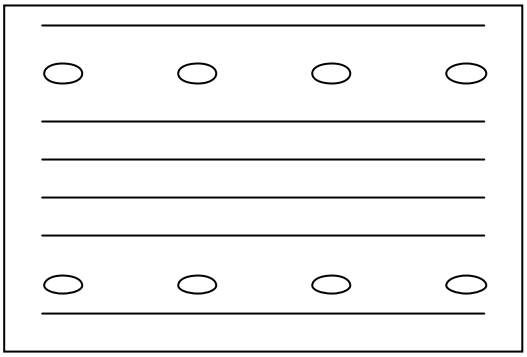
Les cormiers n'ont pas une densité de feuillage importante et l'ombre portée sur les vignes est très insuffisante pour essayer de quantifier l'impact d'une réduction de lumière.

De façon à approcher l'effet d'un ombrage, il a été décidé de tendre une ombrière sur une portion de la parcelle et de voir les effets sur la qualité de maturation et sur le $\delta^{13}C$.

Le matériel utilisé est une bâche tissée correspondant à 40% d'ombrage. Elle est positionnée suffisamment haut pour permettre au viticulteur de traiter et de vendanger.

le rang contrôlé est le rang central (moindre effet des arbres) versus la portion du même rang au soleil.





parcelle B4 extensive du chapitre 4

figure 31 : schéma d'installation de l'ombrière , parcelle B4

figure 32 : ombrière, parcelle B4

5.1 Interception de la lumière et conductance stomatique.

Les mesures ont été réalisées le 18 août 2009.

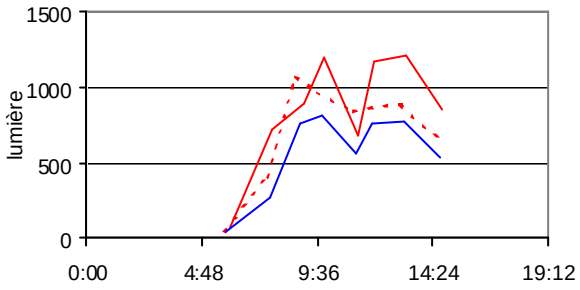
le graphique de la lumière met en évidence le passage du soleil côté est de la souche, puis au dessus de la souche (creux dans les mesures vers 11h), puis côté ouest de la souche.

Le niveau des mesures de conductance place les souches de la B4 dans les souches stressées (cf chapitre 312).

Le pic de lumière du matin semble entraîner une fermeture des stomates. La transpiration reprend un peu à partir du creux de lumière enregistré et décroît par la suite.

En terme de conductance et donc certainement de photosynthèse, l'orientation NS des rangs serait plutôt limitante.

La présence de l'ombrière impacte la quantité de lumière captée par les souches, à hauteur de 40% uniquement l'après midi. Par contre, les différences dans la conductance sont globalement minimes sauf pour l'après midi. L'ombrage induit par l'ombrière réduit la conductance stomatique.



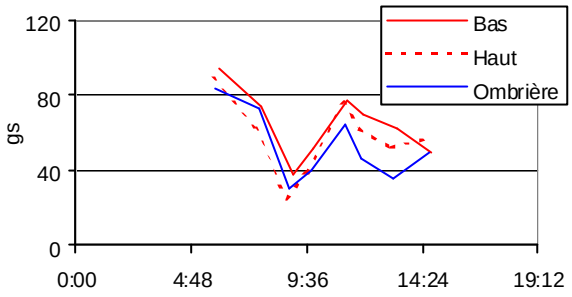
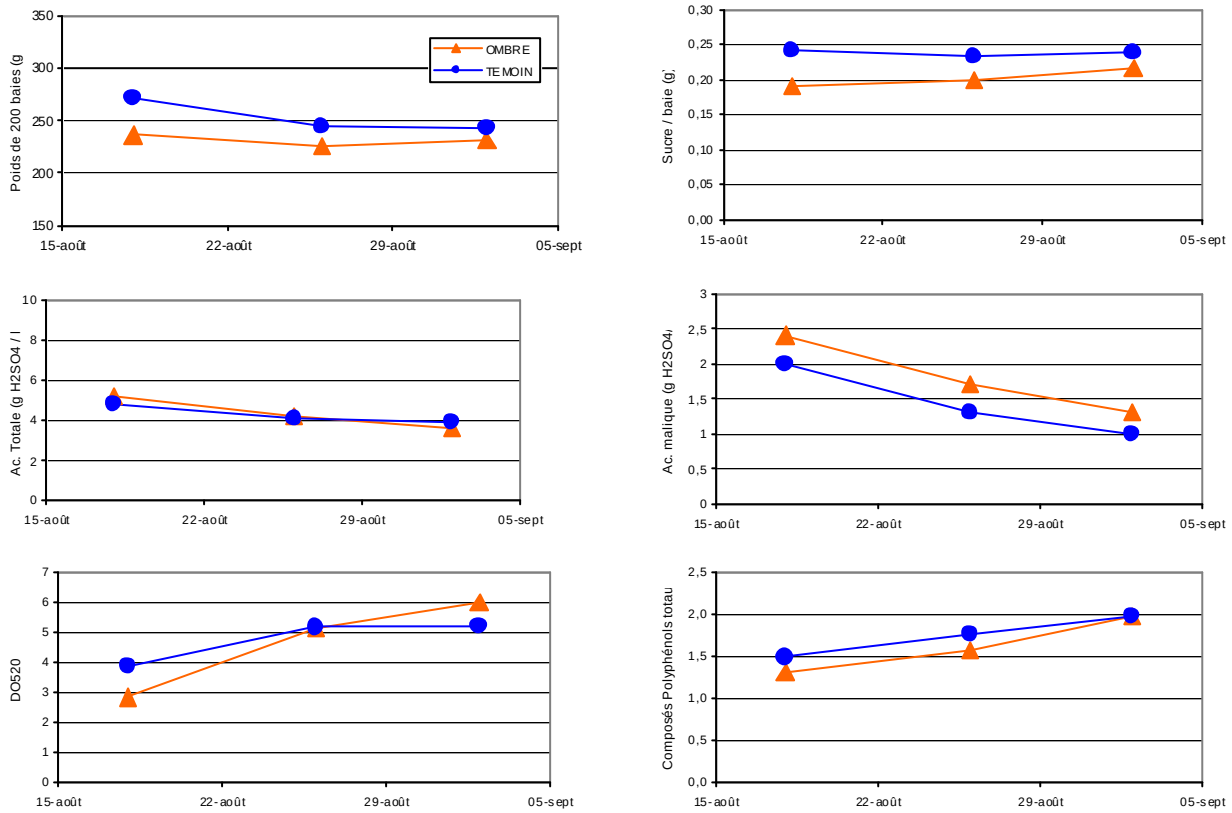


figure 33 : lumière reçue par les modalités en fonction de l'heure de la journée heure solaire et conductance stomatique , parcelle B4

5.2 Maturation des raisins 2009

L'ombrage des souches est perceptible sur les poids des baies , la concentration en sucres. Le fait de limiter l'ensoleillement des souches est visible sur l'acide malique. Cet acide est un témoin des conditions de sécheresse et de chaleur d'un millésime. Il se dégrade plus vite et plus complètement dans des conditions chaudes. L'ombrière réduit cet aspect climatique.



Figures 34 : suivi de la maturation des raisins de la parcelle B4 ombre/soleil

Conclusions

- **Partant d'une parcelle déjà fortement contrainte, l'ombrage choisi de 40% paraît peut être insuffisant pour mettre en avant tous les effets de la réduction de lumière.**
- **Cependant, ce test montre un effet sur la conductance stomatique l'après midi , traduit par une concentration en sucres un peu plus faible, poids des baies plus faible et une dégradation moindre de l'acide malique.**

5.3 Contraintes hydriques pendant la maturation

Les mesures de $\delta^{13}C$ montrent une différence entre les deux zones et une contrainte hydrique plus faible pour la zone ombrée.

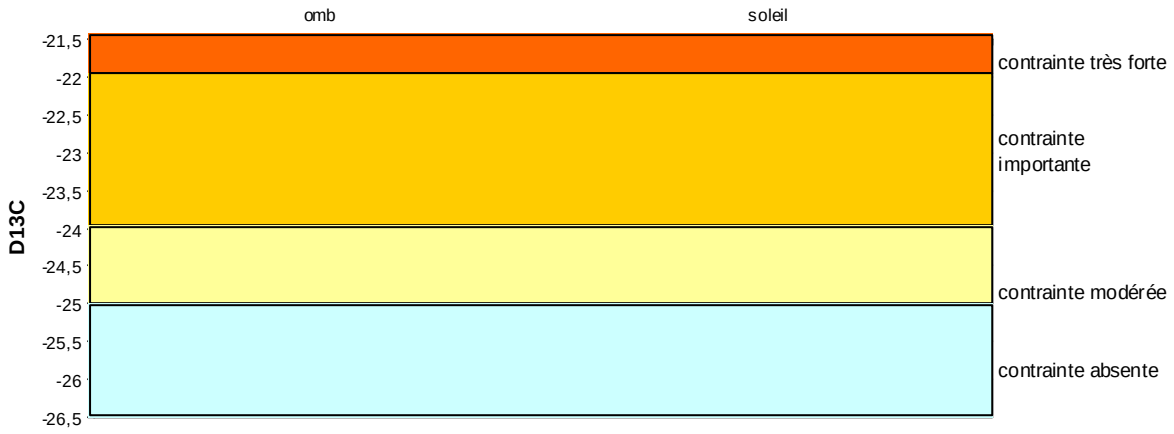


Figure 35 : mesure des $\delta^{13}C$ en fonction des modalités ombrée et soleil

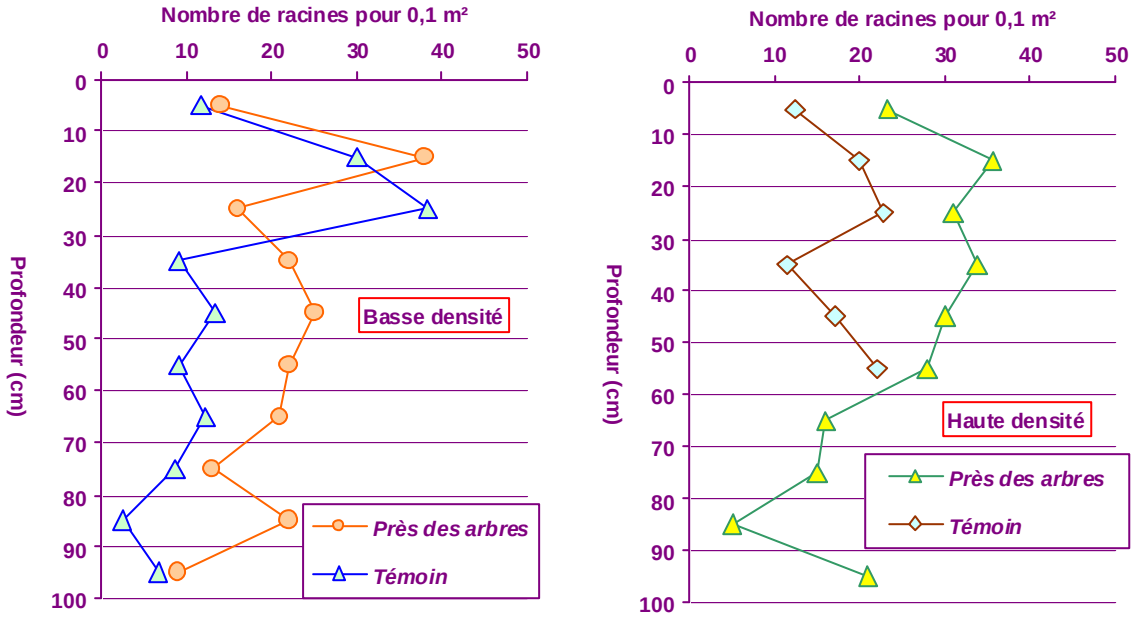
Ces mesures sont très intéressantes également en comparaison de deux zones d'observation de la parcelle B4 (parcelle de défriche à gros bancs calcaires durs). Les mesures de $\delta^{13}C$ en fonction de la position du rang de vigne par rapport au rang d'arbre étaient dans les mesures de contraintes très fortes. Les mesures sur le test d'ombrage : même niveau dans la parcelle mais de part et d'autres d'un passage en travers montrent des souches sous contrainte modérée à absente. Ces $\delta^{13}C$ mettent en évidence la grande hétérogénéité de l'alimentation hydrique d'une zone de défriche.

Systèmes racinaires – extraits des compte rendus précédents

Les chapitres suivant sont extraits des compte rendus des années précédentes. Ils permettent de mettre en parallèle des mesures effectuées ces dernières années avec des observations racinaires faites un peu plus tôt dans le programme.

6.1 Système racinaire B4, observation avril 2002

Afin de faire un point sur la distribution racinaire de la vigne, 4 fosses pédologiques ont été ouvertes dans la parcelle, en quatre situations très contrastées. Pour chaque modalité (intensive / extensive), nous avons fait creuser une fosse dans la partie témoin, sans arbres, et une fosse entre un rang de vigne et un rang d'arbres. Sur le mur de ces fosses le plus près du rang de vigne (30 cm de distance), nous avons compté le nombre d'impacts racinaires sur une grille de 1 m² avec une maille de 10 cm x 10 cm.
Les premières observations montrent que le sol, sur cette parcelle gagnée sur la garrigue, est très hétérogène localement. Ainsi, sur les 4 fosses ouvertes, trois présentent un sol brun superficiel sur une roche calcaire très fissurée et une un sol profond marno-calcaire (fosse "basse densité, près des arbres"). Ces différences induisent automatiquement des contraintes opposées en termes d'enracinement potentiel.
Par suite, les différences constatées et représentées sur la figure 36 sont plus représentatives de ces contraintes pédologiques que d'une réelle interaction entre arbres et vignes. La roche calcaire, très dure, est parfois présente de façon continue et peu fissurée (fosse "haute densité témoin") induisant l'absence de comptages racinaires sous 60 cm. Les figures 37 donnent une idée plus précise de l'hétérogénéité constatée.
En définitive, ces comptages sont en l'état très difficiles à interpréter. Ils seront utilisés par comparaison avec des comptages réalisés en conditions similaires dans quelques années, témoignant d'une possible concurrence pour la conquête de l'espace pédologique entre les vignes et les arbres.



Figures 36 : Distribution verticale des racines de vignes comptées sur le mur d'une fosse pédologique à 30 cm du rang de vignes (en nombre d'impacts racinaires sur 0,1 m²)

figures 37 : fosses pédologiques et enracinement de la vigne dans les sols superficiels (à gauche) et profond (à droite)

L'enracinement des arbres n'a pu être distingué de celui des vignes. Par conséquent, il est quasiment impossible actuellement d'évaluer l'interpénétration des deux systèmes racinaires sur la zone de rencontre. Peut-être cette tâche sera facilitée lorsque les systèmes racinaires seront adultes et plus lignifiés qu'aujourd'hui.

6.2 Système racinaire B10, observation avril 2006

3 fosses ont été réalisées à la profondeur maximum atteinte par un tractopelle. L'emplacement des fosses est matérialisé par sur la figure ci-dessous.

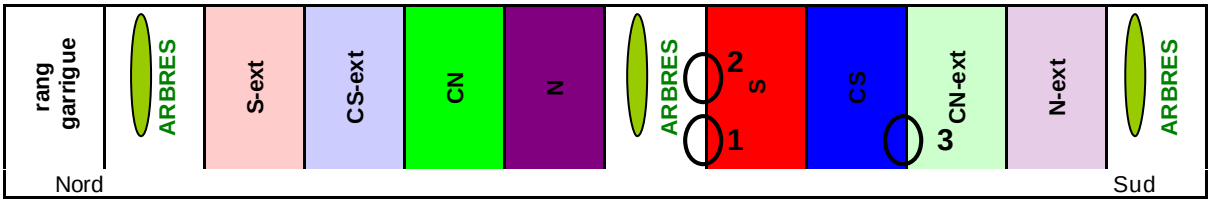


figure 38 : localisation des fosses sur le plan de la parcelle B10

La largeur des fosses est telle que des coupes du sol transversales entre les rangs d'arbres et de vigne (largeur 3.75m) ou entre 2 rangs de vigne (2.50m) ont été réalisées .

figure 39 : fosse 1 , entrée de parcelle, entre arbres et vigne

L'observation du sol montre une hétérogénéité naturelle du sol à peu de distance d'une fosse à l'autre (profil 1 et 2). Elle met en évidence une profondeur de sol exploitable faible : de 21 à 50 cm, insuffisante (pour la plus faible) en conditions normales pour un bon développement de la vigne. Ces variations sont caractéristiques des sols de défriche.

15 cm horizon argileux, brun foncé

35 cm horizon brun, moins MO, graviers

Roche mère

profil 1 : fosse 1

21 cm d'horizon exploitable

Roche mère

profil 2 : fosse 3

figures 40 : fosses 1 et 3, parcelle B10

L'observation des racines sur la fosse 1 montre :

a/ racines de pin : (figure 41)

-très nombreuses racines au départ du tronc qui partent dans tous les sens dans la portion de sol vue
-racines lisses, horizontales posées au dessus de 25cm, peu de ramifications, facilement cassantes, filandreuses.

b/ racines de vigne : (figure 42)

-racines de vigne fines à moyennes, peu torturées
-les racines de vigne rentrent un peu dans le calcaire marneux, contrairement au pin. Ce système racinaire est cependant rendu très superficiel par la présence de la roche mère. Un système racinaire bien développé dans de bonnes conditions d'expansion devrait plonger en profondeur à plus d'1,20m …
-deux racines de vigne sont suivies jusqu'à 1,60m de la souche : à 22cm de profondeur et à 42cm

c/ Interaction entre les deux systèmes racinaires :

gênés dans une expansion verticale, les systèmes racinaires sont amenés à exploiter la même pauvre épaisseur du sol. Il est observé 1 racine de vigne qui " butte " sur une racine de pin (⟷), se réoriente et la longe. Les questions suivantes restent encore sans réponse :

- pourquoi cette bifurcation ?
- ordre d'apparition des racines ?

figure 41 : système racinaire du pin dans la portion de sol dégagée (1/4 de part et d'autre du tronc) . Racines maîtresses horizontales, très superficielles

figure 42 : système racinaire de la vigne dans la portion de sol vue (1/2 morphologie racinaire). Les racines de vigne descendent un peu plus bas mais sont vite arrêtées par la roche mère.

L'observation des racines sur la fosses 3 montre :

-Plusieurs racines de pin horizontales à 20-25cm de profondeur sont observées (distance 7m50 des arbres).
-Racines de la vigne à 30-40 cm de profondeur avec de grosses racines maîtresses

Ces observations tendent à confirmer l'une des raisons des faiblesses constatées sur la vigne d'un point de vue rendement et expression végétative. Les racines de vigne ne descendent pas facilement en profondeur, car leur expansion verticale est limitée par l'apparition de la roche mère. Les racines de pin sont naturellement relativement superficielles, visiblement vigoureuses (rapidité d'expansion, taille) et rentre directement en concurrence avec la vigne sur un horizon d'épaisseur déjà insuffisante pour une bonne alimentation en eau. Donner des conclusions trop hâtives seraient cependant mauvaises, en effet, d'autres paramètres de concurrence (lumière) ou de toxicité (tanins des résineux) pourraient jouer dans l'équilibre entre les deux végétaux.

Conclusions

Les suivis réalisés sur la parcelle B10 sont arrivés à leur terme en l'état des choses.
Pour continuer à essayer de comprendre ce qui se passe et éventuellement séparer les effets indiscutables des pins , des effets très probables du sol, des circulations d'eau en profondeur possible , il serait nécessaire d'envisager des observations différentes :

- relevé de la flore en fonction de la présence des arbres, de façon à caractériser des problèmes de toxicité liés à la présence des tanins du pin,
- travail en partenariat sur les exudats racinaires de ces arbres et leur effet sur la vigne, éventuellement également l'effet des aiguilles de pin,
- il serait nécessaire de mettre en parallèle le niveau de développement des arbres (relevé du CRPF) avec la cartographie de rendement de la vigne,
- une cartographie de la profondeur de la roche mère devait être réalisée par résistivité. Les données sont difficiles à interpréter, mais sont acquises. Elles seraient un bon complément à une série de fosses tous les Inter rang après un nouveau cerclage des arbres (profondeur du travail du coutre mis ainsi en évidence).

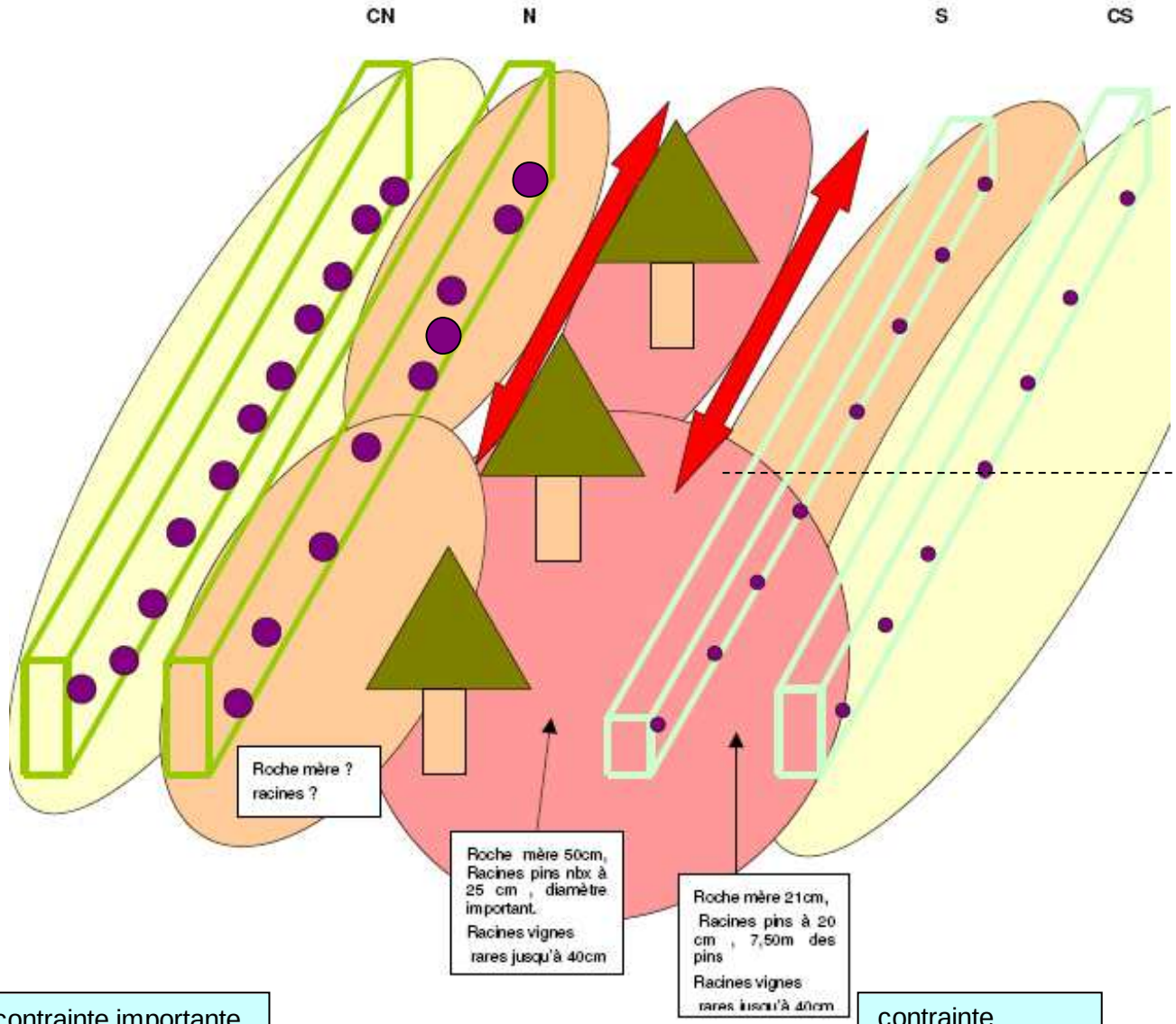
La figure 43 reprend les hypothèses 2008 sur le développement spatial des racines de la vigne et des arbres et les effets du cerclage 2007-08, les données 2009 sont apportées à ce graphique.

Les suivis réalisés sur la parcelle B4 peuvent montrer un début de réponse des modalités à la proximité des arbres, il est nécessaire de mieux cadrer le suivi 2010 et de réaliser la vendange.

L'installation del 'ombrière sur une partie de la B4 n'a pas été chose aisée, cependant elle montre une réponse de la vigne sur certain paramètre à une ombre de 40%. La réflexion 2010 portera sur une ombre plus dense si possible et une installation plus robuste.

dans tous les cas, les conseils apportés en 2008 sur l'installation d'une parcelle en agroforesterie en vigne restent valables :
Un système agroforestier sur sol de garrigue ne peut pas être conseillé, même en plantation extensive sans envisager l'ouverture de plusieurs fosses avant plantation. Ces fosses ont pour objectif d'évaluer les contraintes à l'enracinement de la vigne : dalle superficielle, roche mère difficile à pénétrer, horizons compactés …

- Si le sol est assez profond sur la majeure partie de la parcelle (exemple B4), alors un système agroforestier peut être envisagé en faisant attention au choix de l'arbre. L'idée est que l'arbre implanté n'émette pas trop rapidement un système racinaire superficiel important (les pins brutia avec des racines à plus de 7,50m dès les premières années par exemple). L'entretien de la parcelle liée aux arbres pourrait porter sur un cerclage régulier des arbres (si ceux-ci ne sont pas gravement affectés). Ce cerclage imposerait une plantation en extensif.
- Si le sol est superficiel (exemple B10 avec la roche mère entre 21cm et 50 cm de profondeur). Une plantation agroforestière ne peut pas être envisagée.

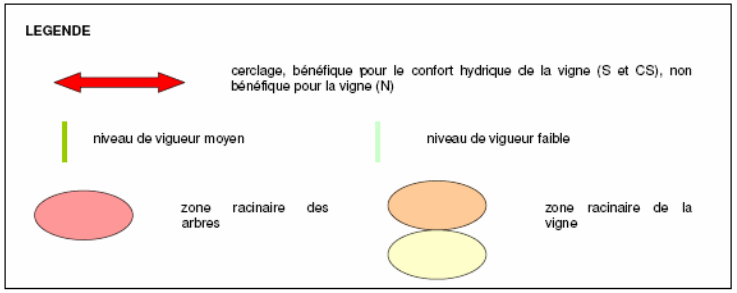


pds baies	[sucres]	[N assi]	dc13
+	+	+	+ pour S (2009)

contrainte importante

DC13

contrainte

-- stress	- stress	gs	+	+
+ (+)	(+)	poids baies		
++	+	[sucres]		
++	++	[N assi]	+	-

significatif à 10h30 heure solaire,
mi août