

**Effets de 2 techniques de désherbage
(Solarisation et désherbage à la vapeur)
sur la biodiversité des sols
en contexte de maraichage en Agriculture Biologique**

- Rapport d'activité -

Yvan CAPOWIEZ*, INRA Avignon

Août 2018



Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet CASDAR «Comment maîtriser l'enherbement des exploitations maraîchères biologiques de la vallée Arize-Lèze ? »(2013-2017)

* Yvan Capowiez, INRA unité « Environnement Méditerranéen et Modélisation des AgroHydrosystèmes », UMR114, Domaine Saint Paul, Site Agroparc, 84914 Avignon cedex 09
yvan.capowiez@inra.fr (04 32 72 24 38)

1. Contexte

Le désherbage constitue un enjeu majeur en maraichage et surtout en agriculture biologique où l'usage de désherbant chimique est interdit. Il existe un ensemble de techniques permettant un contrôle des adventices (couverts végétaux, travail du sol, ...) mais leur coût et leur efficacité sont très variables. Parmi les techniques existantes, les deux étudiées dans le présent rapport, partagent un mode d'action analogue (mais non entièrement similaire), l'utilisation de température élevées pour diminuer le nombre des adventices et la prévalence de certaines maladies telluriques, il s'agit de la solarisation et du désherbage à la vapeur.

La solarisation consiste à bâcher un sol humide durant l'été (en général 60 jours) pour tuer certaines maladies et adventices. La température peut atteindre 40°C à 25 cm de profondeur (ça dépend de l'humidité, du climat et de la nature du sol). L'effet sur la faune utile du sol est assez mal connu. Il est probable que bactéries et champignons soient impactés mais on compte sur une recolonisation rapide. Les effets sur la macrofaune du sol sont mal connus, certains auteurs pensent que les vers ont la capacité de se réfugier en profondeur. Dans la zone méditerranéenne, les vers ne sont pas actifs l'été et l'impact sur leurs populations va alors dépendre de la profondeur de diapause ou quiescence de ses animaux (celle-ci dépend de l'espèce et on peut penser que les vers anéciques seraient alors moins sensibles). Cette technique est utilisée dans l'exploitation d'Angel Alègre et Isabelle Bodineau à Pailhès (Ariège).

Le désherbage par vapeur est l'application de vapeur d'eau à forte température (165°C sur certaines machines) quelques secondes ou minutes grâce à une cloche circulaire ou rectangulaire. C'est une technique énergivore et consommatrice de main d'oeuvre. Concrètement, cette machine est utilisée dans l'exploitation d'Olivier et Coline Rosset à Saint Lizier (Ariège) pour la production de plants. Pour leur usage, la cloche a été modifiée (et agrandie à 1 m²).

Ces techniques sont parfois décriées soit par leur côté consommateur d'énergie fossile (machine à vapeur) soit pour leurs effets possibles sur la biodiversité utile des sols. De fait, il existe très peu de sources scientifiques ou techniques décrivant ces effets. C'est cette seconde question que nous allons traiter dans le présent rapport. La question que l'on pourrait poser est la suivante : ces techniques sont-elles compatibles avec les principes de l'Agriculture Biologique qui s'appuie sur les services écosystémiques rendus par la biodiversité naturelle ?

2. Expérimentations réalisées

Dans le cadre de cette étude, il est impossible d'étudier les effets sur toutes les composantes de la biodiversité du sol. Nous nous sommes focalisés sur 2 composantes qui sont traditionnellement jugées les plus utiles (grâce à leur contribution à la fertilité biologique des sols) et correspondant à des tailles et donc des habitats différents. Il s'agit des lombriciens (ou vers de terre) et des micro-organismes du sol (bactéries et champignons). Ces derniers étant difficiles à étudier et dénombrer, nous utiliserons une caractérisation indirecte de leur biodiversité en analysant leur biomasse et leur diversité catabolique (capacité à dégrader certains substrats), et ce en utilisant la méthode MicroResp (<https://www.microresp.com/>).

2.1. Exploitations et tunnels étudiés

L'effet de la Solarisation sera étudié chez Angel Alègre et Isabelle Bodineau à Pailhès. Nous comparerons deux tunnels distants de quelques mètres, un subissant une solarisation pendant l'été 2016 et le second sans solarisation.

L'effet du désherbage à la vapeur sera étudié chez Olivier et Coline Rosset à Saint Lizier. Nous comparerons deux tunnels distants d'une dizaine de mètres, un subissant le désherbage à la vapeur ponctuel à l'été 2016 et le second n'ayant jamais subi un tel traitement.

Les quatre tunnels sont en activité (maraichage) avec des rotations non identiques entre tunnels d'un même site. Il y a donc une limite forte à notre étude, la non-réplication, et un possible facteur de confusion (la rotation et surtout le mode d'irrigation associé à chaque culture).

2.2. Etude de la macrofaune lombricienne

Pour étudier et dénombrer, les vers de terre dans chaque tunnel, nous avons utilisé la méthode la plus classiquement utilisée, le tri manuel. Il existe des méthodes plus complexes dites mixtes, c'est à dire utilisant d'abord un irritant avant le tri manuel, mais leur avantage est faible au regard des difficultés techniques engendrées (transport de liquide, utilisation de produits toxiques, tri manuel rendu plus difficile). Le tri manuel consiste à bêcher rapidement une surface donnée (ici 30 x 30 cm) à une profondeur donnée (ici 20 cm) et de placer la terre de cette surface dans un bac qui sera ensuite triée manuellement pour en récupérer tous les vers. Le seul défaut de ce protocole est de parfois sous estimer l'abondance des anéciques du genre *Lumbricus* lorsqu'ils sont adultes, seuls vers capables de migrer très rapidement en profondeur. Ce genre est par ailleurs, très peu présent à Pailhès et à Saint Lizier.

En terme de design expérimental, pour chaque date, nous avons réalisé 7 prélèvements par tunnels, chacun espacé de 5 m pour limiter l'auto-corrélation, le plus souvent entre les rangs decultures. Les vers sont conservés vivants dans de l'eau, pesés et identifiés au laboratoire.

2.3. Etude de la biomasse et de la diversité des micro-organismes du sol

Pour chaque date et chaque tunnel, nous avons réalisé 5 prélèvements à la tarière (chacun espacé de 5 m et donc entre chaque prélèvement de lombriciens). Chaque prélèvement de sol est ensuite séparé entre une partie superficielle (0-5 cm) et une partie profonde (5-10 cm). Les échantillons sont ensuite transportés au laboratoire dans une glacière et conservés dans une chambre froide jusqu'à l'analyse. Pour l'analyse, ils sont tamisés à 2 mm et ré-humidifiés au besoin à 20% (pourcentage massique). Le protocole MicroResp est ensuite appliqué ce qui permet d'obtenir une estimation de la biomasse microbienne et une image de la diversité catabolique des communautés microbiennes (Campbell et al. 2003). Dans le cadre de cette étude, 7 substrats furent utilisés (cf infra).

3. Résultats

3.1. Effets sur la macrofaune lombricienne

Par souci de concision, nous présenterons les données en abondance et en biomasse de lombriciens (au m²) sans entrer dans le détail ni des catégories écologiques (épigés, endogés et anéciques), ni des espèces, ni des stades de développement (juvéniles, subadultes et adultes) car la plupart du temps, aucun résultat saillant ne fut obtenu avec ces sous-catégorisation et ce pour 2 raisons. Premièrement les effectifs totaux étant faibles on a alors des effectifs encore plus faibles et les différences sont encore plus difficiles à mettre en évidence (présence de nombreux zéros). Deuxièmement, notre étude étant diachronique, nous butons sur des problèmes de phénologie à chacune des dates, sachant que ces phénologies peuvent être décalées entre tunnels à cause de la rotation (et par exemple du type d'irrigation).

Néanmoins, des détails seront donnés sur la composition spécifique des communautés

lombriciennes de chaque site.

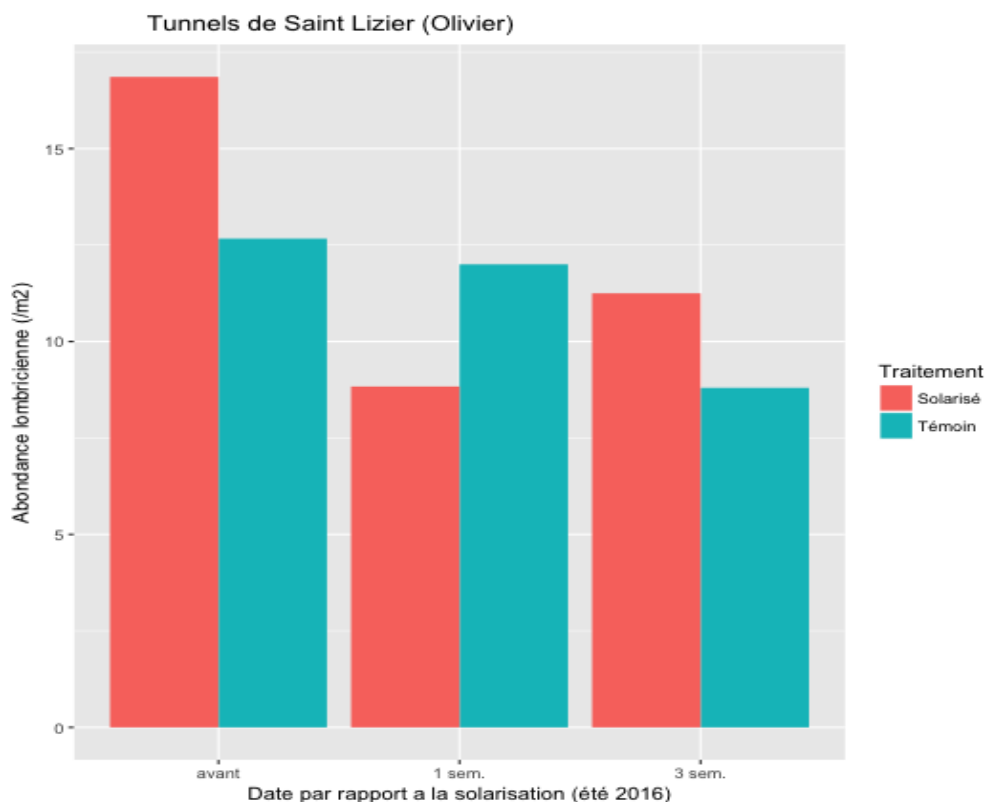
3.1.1. Effets du désherbage à la vapeur (site de Saint Lizier)

Sur l'ensemble des dates, les différentes espèces trouvées furent : *Allolobophora chlorotica* (75% des effectifs) , *Aporrectodea sp* (19%), *A. nocturna* (2%), *Proselodrilus fragilis* (4%) et *L. terrestris* (0.5%). Il y a peu d'anéciques (il sont cependant présents hors des tunnels) vraisemblablement à cause du travail du sol intensif.

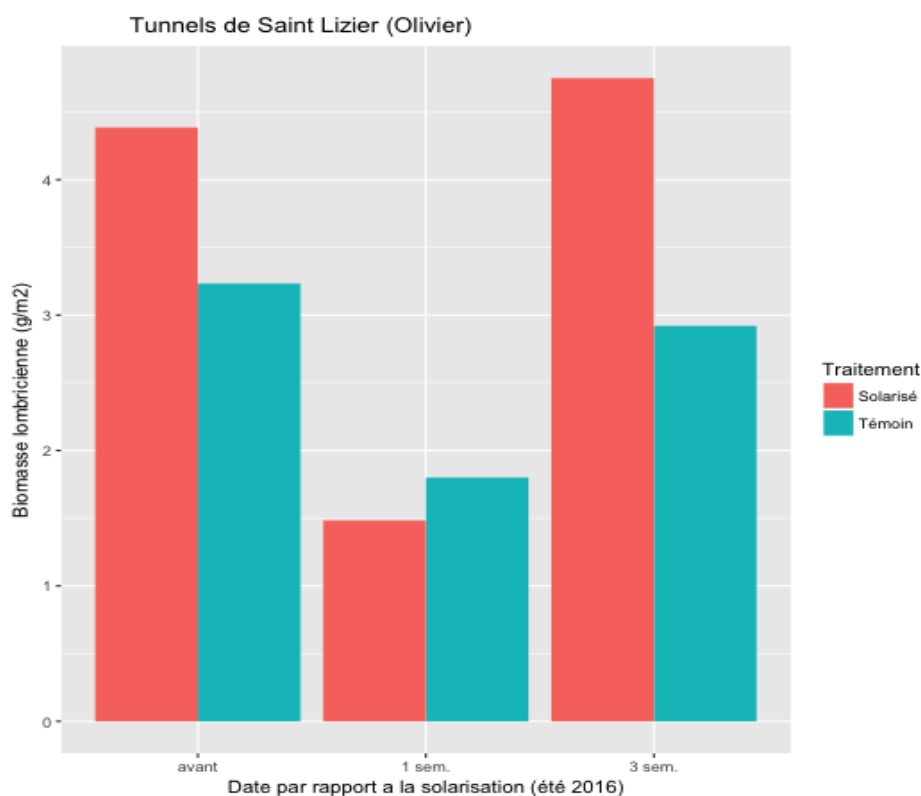
Les abondances de vers avant le désherbage à la vapeur sont différents entre les 2 tunnels avec plus de vers observés dans le tunnel où le désherbage va être appliqué.

Une semaine après le désherbage, les effectifs ont fortement chuté (-48%) dans la parcelle désherbée et restent stables dans le tunnel témoin. Les abondances sont alors significativement plus élevées dans le tunnel témoin.

Trois semaines après le désherbage, il n'y a plus de différence significative entre les abondances de vers des tunnels désherbé et témoin. Dans chaque tunnel , les abondances ont alors baissé de manière similaire entre avant et après le désherbage (-30 et -33% respectivement).



La biomasse lombricienne suit la même tendance mais aucune différence significative n'est observée une semaine après le désherbage. Trois semaines après, la biomasse est même supérieure dans le tunnel ayant subi le désherbage à la vapeur.



3.1.2. Effets de la solarisation (site de Pailhes)

Sur l'ensemble des dates, les différentes espèces trouvées furent : *Allolobophora chlorotica* (16% des effectifs) , *Aporrectodea sp* (51%), *A. nocturna* (9%), *Proselodrilus fragilis* (23%), *Lumbricus castaneus* (0.2%) et *L. terrestris* (0.2%).

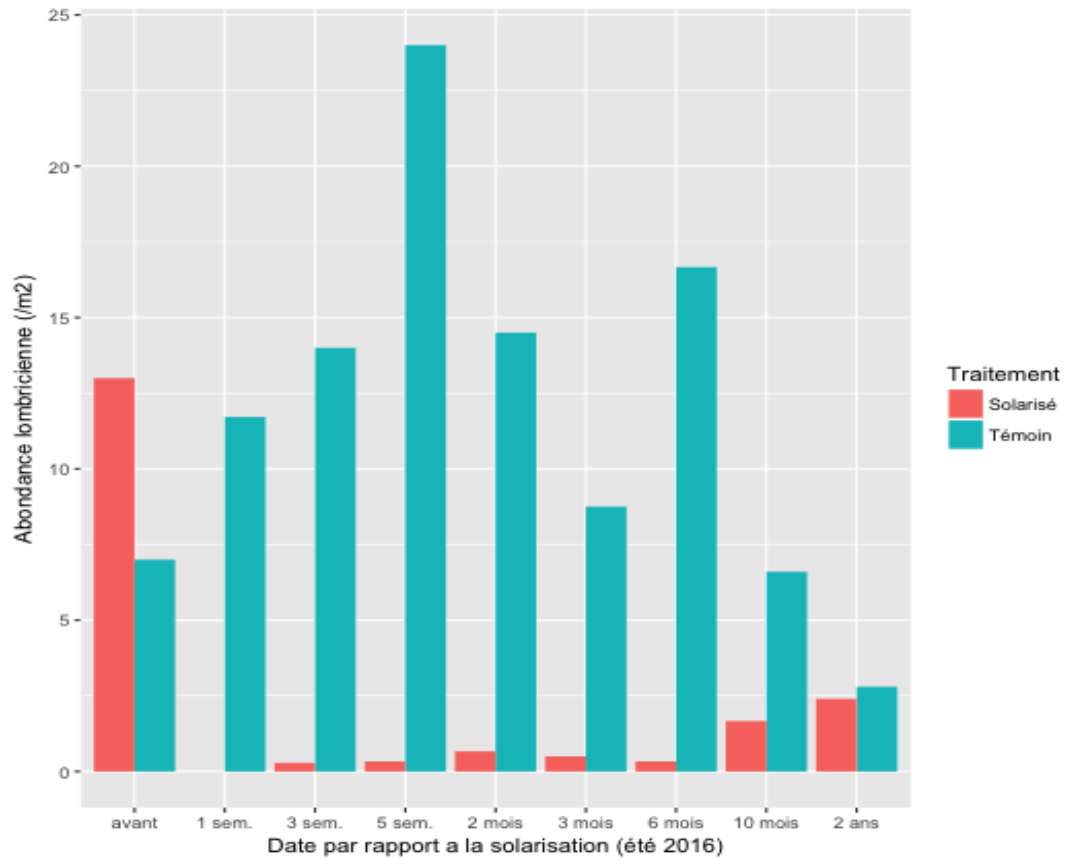
Avant la solarisation, on observait une population de vers plus importante dans le tunnel qui va être solarisé que dans le tunnel témoin.

Par contre après solarisation, les effectifs de vers sont très fortement diminués et quasiment nuls pendant 6 mois. Dix mois après solarisation on observe une faible recolonisation (avec seulement un quart de l'abondance moyenne observée dans le tunnel témoin). Les effectifs de vers de terre redeviennent égaux entre tunnel solarisé et tunnel témoin seulement deux ans après la solarisation dans la situation étudiée.

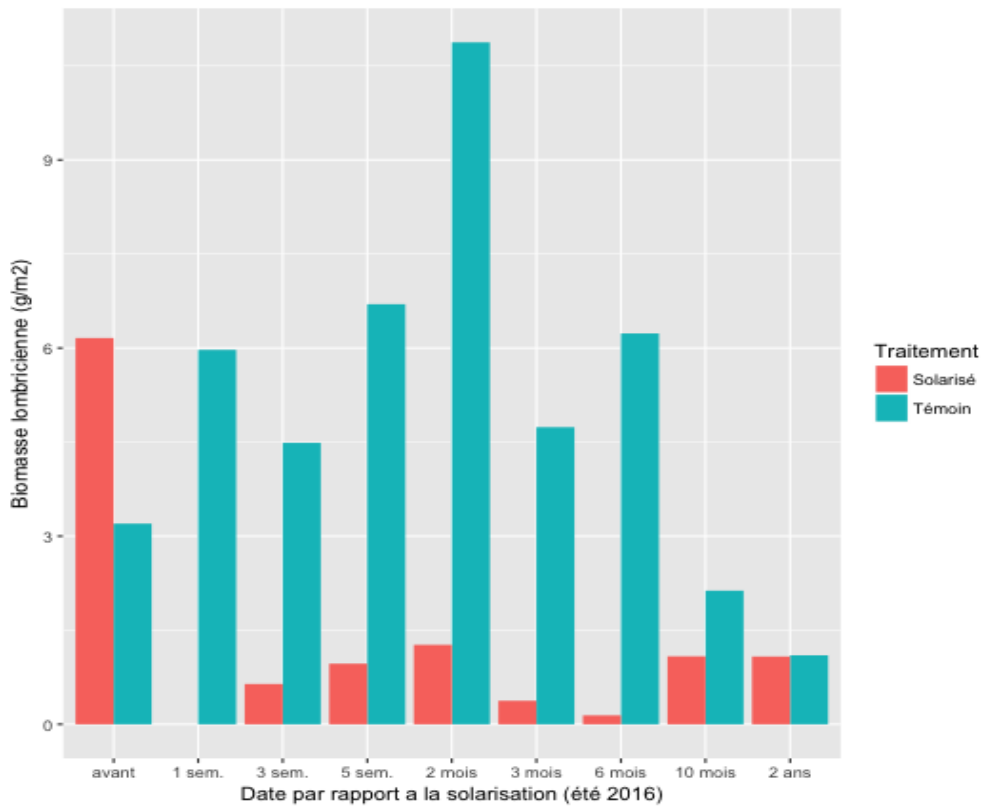
Plusieurs remarques sont à noter concernant ces résultats :

- les effectifs dans le tunnel témoin sont très variable en fonction des saisons et de la phénologie des vers ;
- deux ans après la solarisation, les effectifs sont égaux mais particulièrement faibles. Cela est dû au fait que le sol était très secs en mai 2017. Le strict retour à l'équilibre est donc difficile à dater exactement, on notera que la tendance à la hausse des effectifs dans le tunnel solarisé est sensible à partir de 6 mois après la solarisation ;
- On note que 3 et 5 semaines puis 2 mois après solarisation, l'effet est plus fort sur les abondances que sur la biomasse des lombriciens. Cela signifie que le peu de vers trouvés dans le tunnel solarisé sont plutôt des vers adultes ou subadultes (donc de poids moyen plus élevé).

Tunnels de Pailhes (Angel)



Tunnels de Pailhes (Angel)



3.2. Effets sur la biomasse et les activités microbiennes

Le principe de la microrespirométrie d'un sol est le suivant :

- (i) la respiration d'un échantillon de quelques grammes tamisés de sol est le fait des activités des communautés microbiennes contenues dans ce sol ;
- (ii) la plupart des micro-organismes du sol sont inactives et deviennent actives lorsque les conditions d'activité sont à nouveau possibles. C'est le cas lorsque le sol est tamisé et réhumidifié (on obtient alors la **respiration potentielle** du sol qui dépend donc de la **biomasse microbienne** de ce sol) ;
- (iii) on peut également stimuler les communautés microbiennes en ajoutant différents substrats carbonés facilement dégradables sur ce sol tamisé et réhumidifié. On obtient alors le **profil catabolique** potentiel de ce sol.

Dans la cadre de ce projet, nous avons utilisé les 7 substrats suivants : tréhalose, glucose, cellobiose, glucosamine, alanine, glycine et l'acide malique. Nous ne rentrerons pas dans le détail des résultats pour chaque substrat mais nous regarderons au contraire, les variations de profil catabolique dans son ensemble en utilisant des techniques d'analyse multivariées (analyse en composantes principales ou ACP) qui permettent de faire ressortir les variations les plus importantes.

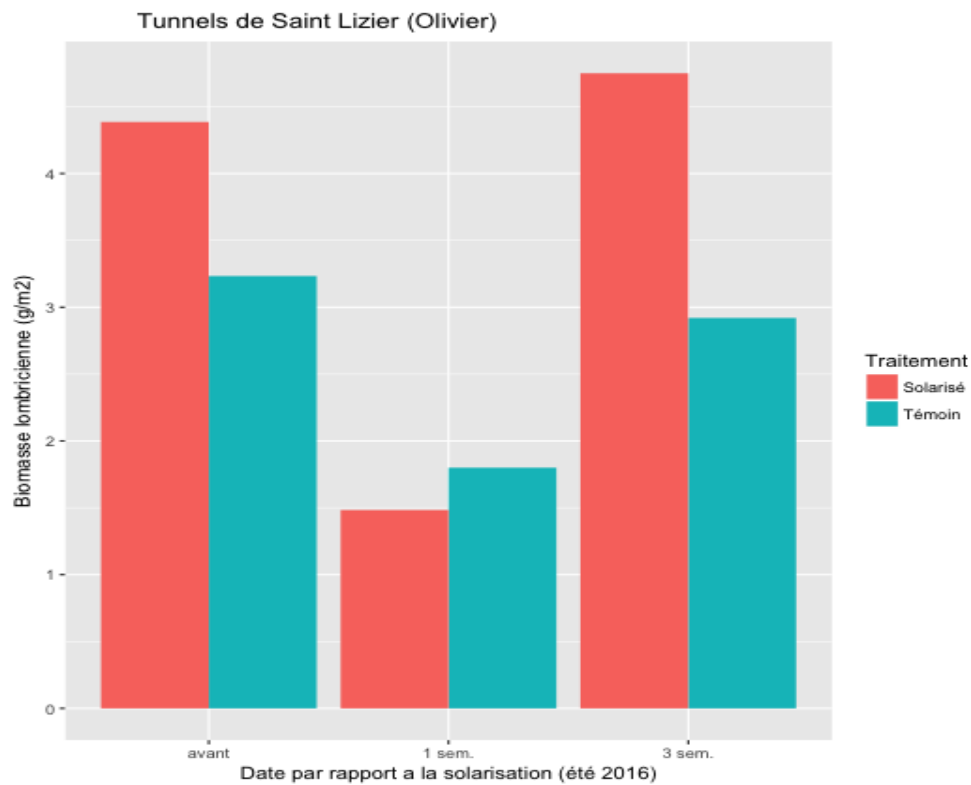
Les ACP permettent de visualiser plusieurs variable simultanément (ici, les variable sont les respirations mesurées pour chaque substrat). Elles sont basées sur des projections, généralement sur 2 axes, de l'ensemble des points observées selon le principe d'une maximisation de la variabilité observée (plus les points sont espacés, plus la variabilité est grande, plus l'effet des facteurs étudiés est supposé grand et donc possiblement interprétable).

Nous avons réalisé des ACP pour chaque site et pour chaque profondeur (par souci de lisibilité). Toutes les ACP présentées ci dessous sont similaires. Je présente donc ici les grands lignes de leur interprétation :

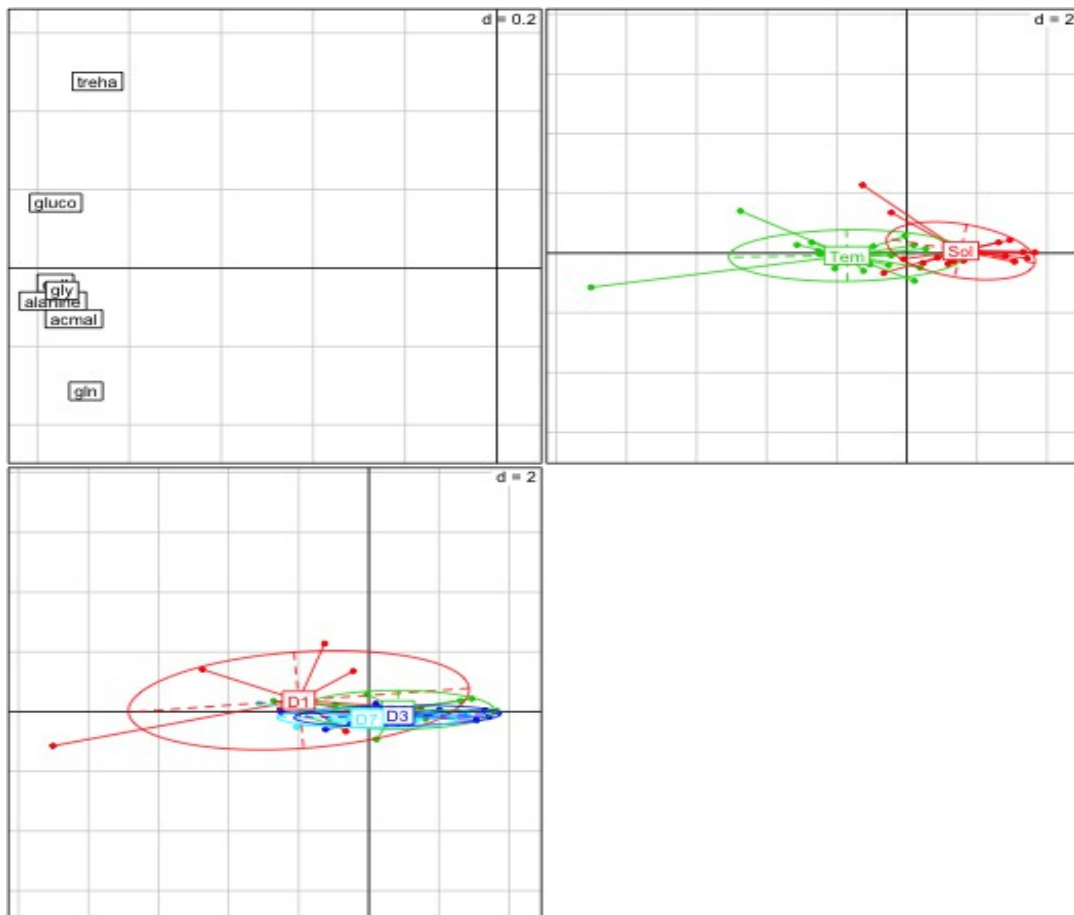
- (i) les traitements (solarisé vs témoin) s'ordonnent principalement selon le premier axe (horizontal) donc représente le plus grand facteur de variation des données observées ; L'intensité de la différence entre témoin et désherbé à la chaleur peut donc s'apprécier en projetant les points sur ce premier axe.
- (ii) les différents substrats s'ordonnent selon le second axe (vertical). Cela signifie qu'ils sont tous globalement impactés de la même manière par les 2 techniques de désherbage étudié (avec une diminution de la respiration) ;
- (iii) la dynamique temporelle peut s'apprécier en regardant comment les dates s'ordonnent et se différencient entre elles. Globalement si les ellipses de 2 dates ne se superposent pas (ou très peu), la différence entre ces dates est significative.

3.2.1. Effets du désherbage à la vapeur (site de Saint Lizier)

Sur ce site où a été utilisé le désherbage à la vapeur, les variations de la biomasse micobienne ne montrent pas de variations interprétables. Pour la profondeur la moins forte (0-5 cm), les valeurs observées pour le tunnel témoin sont toujours supérieures à celles observées sur le tunnel désherbé et ce dans des proportions similaires. Pour la seconde profondeur (5-10 cm), les valeurs témoin restent elles aussi supérieures mais la différence s'amenuise juste après le désherbage. Aucun effet du désherbage n'est donc mis en évidence.



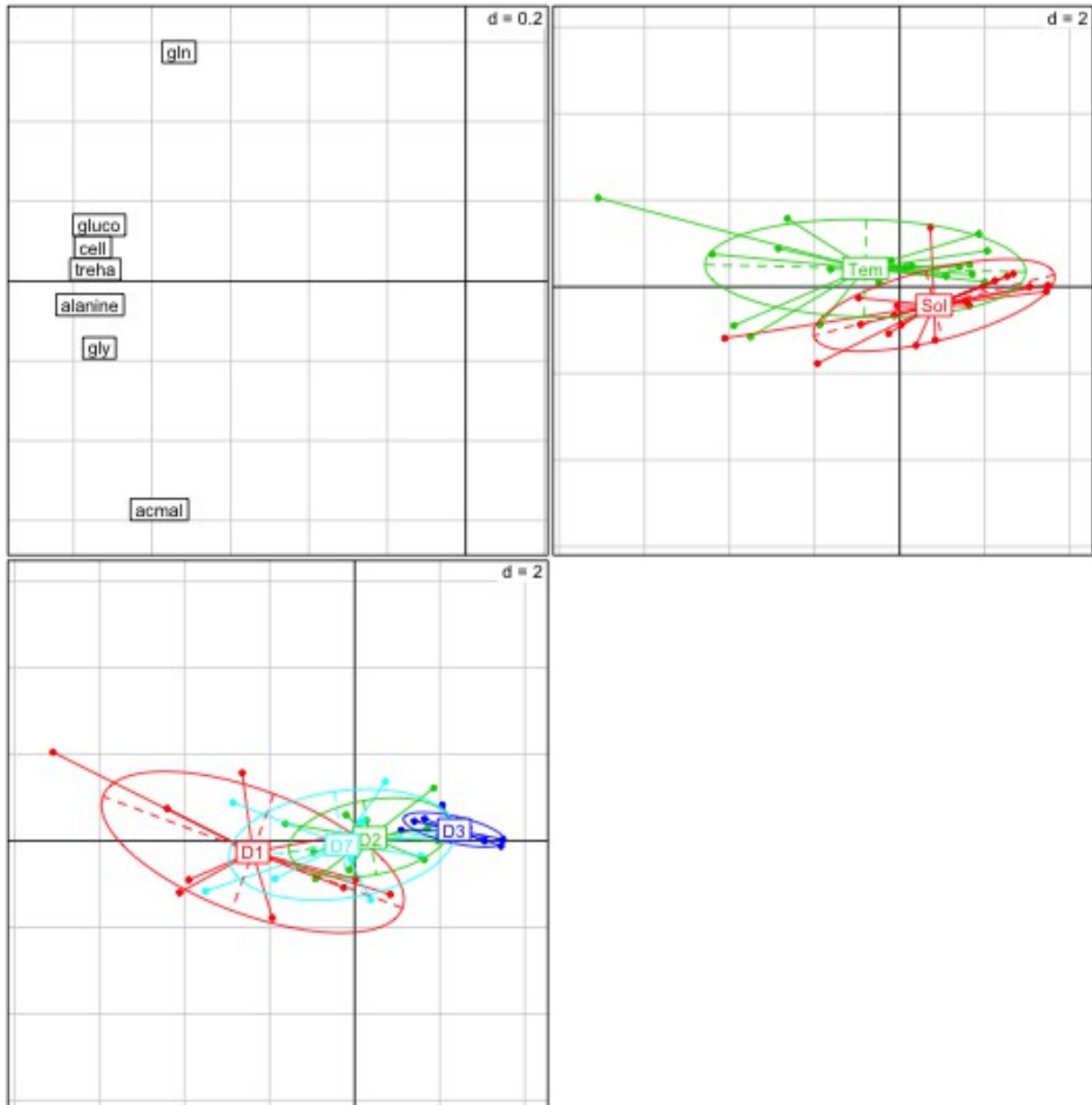
Les profils cataboliques apportent une information différente et mettent en évidence une différence marquée entre tunnels uniquement pour les échantillons récoltés le plus près de la surface (0-5 cm) puisque les 2 ellipses « témoin » et « solarisé » se distinguent nettement selon l'axe horizontal (ce n'est plus le cas pour les échantillons récoltés plus profondément).



En page précédente, les résultats de l'ACP concernant le profil catabolique des échantillons de sol récoltés proche de la surface (0-5 cm).

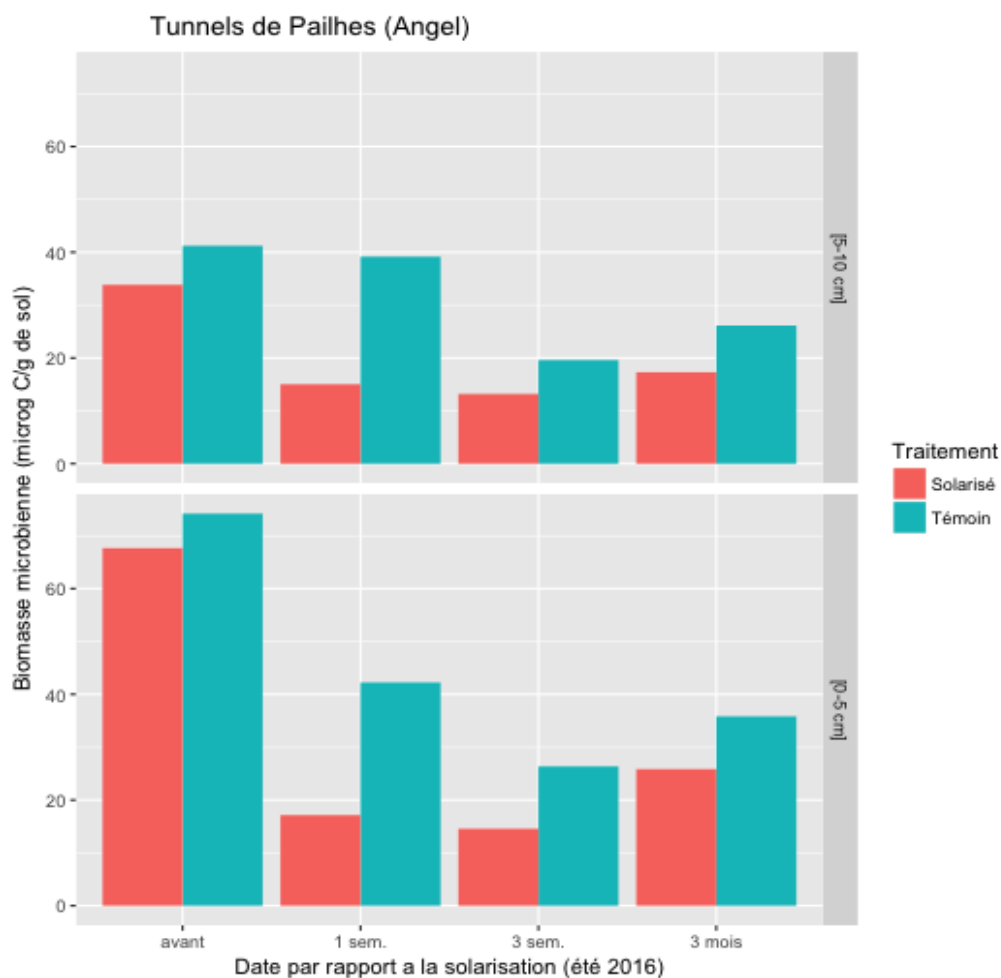
Ci dessous, les résultats de l'ACP concernant le profil catabolique des échantillons de sol récoltés plus en profondeur (5-10 cm).

Pour ces 2 figures, les dates sont indiquées par D1 (avant désherbage), D2, D3 et D7 soit 1 semaine, 3 semaines et 3 mois après le désherbage.



Dans les 2 cas, on note que les échantillons prélevés 3 mois après le désherbage (D7) sont ceux qui sont les plus proches de ceux prélevés avant le désherbage (D1) ce qui semble indiquer un retour à la situation initiale en ce qui concerne les profils cataboliques.

3.3. 3.2.2. Effets de la solarisation (site de Pailhes)



A Pailhès, les biomasse microbiennes dans les tunnels témoin et solarisé sont assez similaires avant la solarisation. Pour les prélèvements suivant la solarisation, on observe des différences significatives entre les 2 tunnels :

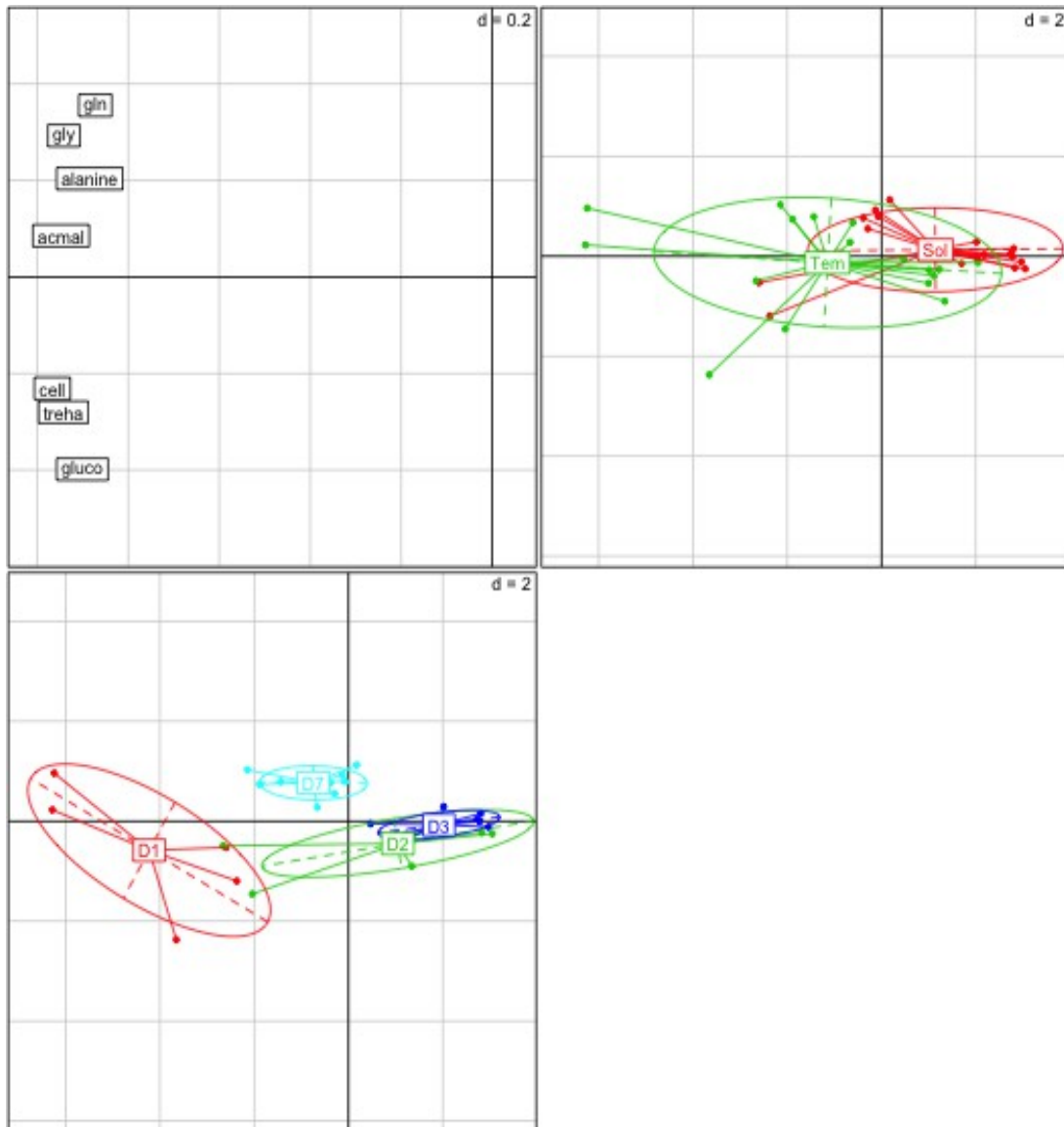
- une semaine après la solarisation pour les 2 profondeurs
- 3 semaines après la solarisation uniquement pour les échantillons collectés le plus proche de la surface (0-5 cm)

Trois mois après la solarisation, nous n'observons plus de différence significative entre les tunnels et les différences entre les 2 tunnels sont similaires à celles observées avant la solarisation.

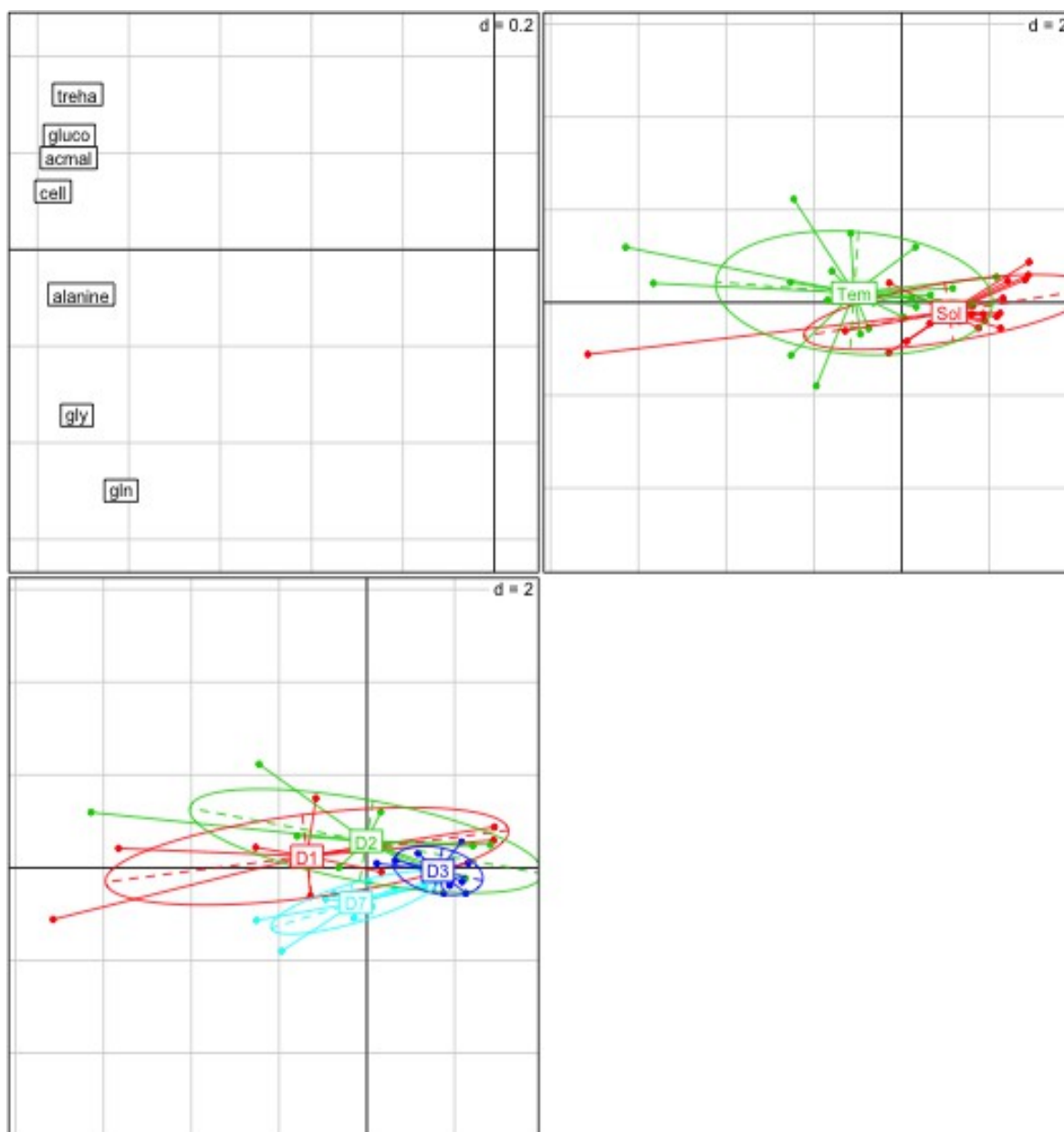
Lorsque l'on regarde les profils cataboliques, on observe des résultats assez similaire avec ceux obtenus pour le désherbage à la vapeur :

- une différence entre Témoin et Solarisé qui est plus marquée près de la surface qu'en profondeur (les ellipses se chevauchent moins).
- Une différence temporelle, elle aussi, plus marquée près de la surface qu'en profondeur. Entre 0 et 5 cm de profondeur, on note que les échantillons correspondant aux dates D2 et D3 (soit 1 et 3 semaines après solarisation) sont nettement différents de ceux avant et longtemps après la solarisation (D1 et D7). En profondeur (5-10 cm), les différences temporelles sont moins marquées et seuls les échantillons prélevés 3 semaines après la solarisation (D3) sont nettement différents de la situation avant la solarisation.

Ci dessous, les résultats de l'ACP concernant le profil catabolique des échantillons de sol récoltés proche de la surface (0-5 cm).



Ci dessous, les résultats de l'ACP concernant le profil catabolique des échantillons de sol récoltés en profondeur (5-10 cm).



4. Eléments de Discussion et Conclusions

Il faut ici répéter que ces expérimentations ont été réalisées sans réplication, c'est à dire que tous les échantillons d'un traitement provenaient d'un seul tunnel. Une partie des différences observées entre tunnel désherbé et tunnel témoin peut provenir d'un effet 'tunnel' ou de son historique. Par ailleurs, les rotations étaient différentes entre tunnels. Donc, même si nous avons pris soin de prendre des échantillons avant le désherbage, les effets observés sont ceux liés à la technique de désherbage dans un contexte (physique et historique donné). Ils ne sont qu'indicatifs et ne peuvent malheureusement pas être extrapolés à d'autres tunnels ou contextes.

Même si notre étude n'a pas été complétée par des mesures in situ de température, nous pouvons affirmer que la solarisation apporte une chaleur moins forte (de l'ordre de 70°C dans les premiers cm selon Masabni and Franco 2012 au Texas) mais sur une période très longue (au moins 60 jours)

au sol alors que le désherbage à la vapeur apporte une chaleur plus élevée (très supérieure à 100°C) mais sur des durées bien plus courtes (de l'ordre de l'heure ou bien moins). Les différences entre sites sont le fait des différences qui peuvent exister entre une perturbation intense mais courte et une perturbation moins intense mais plus prolongée.

Malgré ces limites, nous pouvons tirer des conclusions des expérimentations menées :

(A) Le **désherbage à la vapeur**, dans les conditions utilisées par Olivier et Coline Rosset, provoque une **perturbation forte (-50%) mais très limitée dans le temps** (moins de 3 semaines) des abondances de **vers de terre**.

(B) Le **désherbage à la vapeur**, dans les conditions utilisées par Olivier et Coline Rosset, provoque une **perturbation notable de la biomasse microbienne mais très limitée dans le temps** (moins de 3 semaines). La diversité des micro-organismes (estimée par son profil catabolique) est **perturbée, surtout dans les couches superficielles (0-5 cm) pour une période inférieure à 3 mois**.

(C) La **solarisation**, dans les conditions utilisées par Angel Alègre et Isabelle Bodineau, provoque une **perturbation très forte, avec des populations réduites de plus de 90% et très durable dans le temps (au moins 10 mois)** sur les abondances de **vers de terre**.

(D) La **solarisation**, dans les conditions utilisées par Angel Alègre et Isabelle Bodineau, provoque une **perturbation notable de la biomasse microbienne mais très limitée dans le temps** (moins de 3 semaines). La **diversité** des micro-organismes (estimée par son profil catabolique) est **perturbée, surtout dans les couches superficielles (0-5 cm) pour une période inférieure à 3 mois**.

Les conclusions relatives aux effets sur les micro-organismes sont corroborées par les résultats récents obtenus par Yao et al. (2016) en Chine. Ces auteurs ont observé une recolonisation rapide (en 2 semaines) des micro-organismes, dont certains néfastes aux cultures, après solarisation d'une culture de concombres.

On peut penser que les différences entre sites, donc concernant la réaction des populations lombriciennes, proviennent des types de perturbation appliquées. Pour des perturbations liées à la chaleur fortes mais courtes, il semble que les vers aient pu trouver en profondeur un refuge suffisant. Il s'agirait donc d'une recolonisation verticale.

Les différences entre organismes biologiques (vers versus micro-organismes) proviennent probablement de leur grande différence de vitesse de recolonisation et de mode de résistance. Il est connu que les vitesses de colonisation de proche en proche par les vers sont de quelques mètres par an (Eijsackers 2011). Il est également possible que les conditions particulières dans les tunnels (travail du sol notamment) ait encore plus freiné ce retour horizontal.

Il est important de pouvoir confirmer/conforter ces résultats dans d'autres contextes, notamment parce que la littérature à ce sujet est extrêmement limitée comme le reconnaissent Elmore et al. dès 1997. C'est important car, si on se base sur les résultats obtenus après solarisation, celle-ci, si ses effets sur les vers sont confirmés, semble peu compatible avec la philosophie de l'Agriculture Biologique.

Remerciements

Mes remerciements les plus sincères vont aux deux couples de producteurs pour leur accueil, leur discussions et leur gentillesse mais également à Delphine Da Costa du CIVAM BIO 09 qui a parfaitement organisé et géré ce volet du projet CASDAR. Je remercie également Magali Rault

(Université d'Avignon) qui a réalisé les mesures de respirométrie.

Références citées

Campbell CD, Chapman SJ et al. (2003) A rapid method to measure carbon dioxide evolved from carbon substrate amendements as to determine the physiological profiles of soil microbial communities by using whole soil. *Applied and Environmental Microbiology*, 69, 3693-3599.

Eijsackers H (2011) Earthworms as colonizers of natural and cultivated soil environments. *Applied Soil Ecology*, 50, 1-13.

Elmore CL, Stapelton JJ, Bell CE, Devay JE (1997) Soil solarization – a non pesticidal method for controlling diseases, nematodes , and weeds. University of California, Publication 21377.

Masabni JG, Franco JG (2012) Soil solarization. Texas A&M Agrilife Extension.

Yao Y, Xue Z, Hong C et al. (2016) efficiency of diffeent solarization-based ecological soil treatments on the control of Fusarium wilt and their impact on the soil microbia community. *Applied Soil ecology*, 108, 341-351.