

Réduction de l'utilisation des herbicides en terrain granitique du Beaujolais : quelles influences agronomiques, œnologiques, économiques et environnementales ?

Jean-Yves Cahurel, IFV, jean-yves.cahurel@vignevin.com,

Thierry Decouchant, SICAREX Beaujolais,

Sophie Penavayre, Christophe Gaviglio, IFV.

Les diagnostics effectués sur différents bassins versants viticoles ont abouti au constat d'un transfert de certaines substances herbicides vers les eaux superficielles. Dans certains cas, les eaux souterraines sont également concernées. Des actions doivent donc être entreprises pour réduire ces pollutions, la suppression de certaines matières actives, comme l'aminotriazole, ou l'obligation de la diminution des quantités de matière active utilisables à l'hectare, commencée pour le glyphosate, devant se généraliser à plus ou moins long terme.

Les vignobles en Beaujolais-Villages et en Crus, du fait de leur mode de conduite (gobelet, densité élevée) et de leurs caractéristiques pédologiques (sol granitique, faible profondeur) et topographiques (coteaux à pente élevée), sont actuellement mal préparés pour répondre à ces exigences. Des solutions économiquement viables sont difficiles à trouver en coteau si le mode de conduite n'est pas modifié, le type de sol superficiel écartant l'enherbement et les problèmes d'érosion éliminant la solution du désherbage mécanique. Par contre, sur sol moins pentu et moins superficiel, une modification du type d'entretien du sol permettrait une diminution sensible des désherbants. La faisabilité de cette modification est à vérifier, de même que l'impact environnemental qu'elle peut avoir.

Outre ces aspects environnementaux et techniques, il convient également de prendre en compte les aspects agronomiques de l'incidence des différentes méthodes d'entretien des sols dans le choix des itinéraires adaptés aux diverses situations. La possibilité de modifier le mode de conduite, initiée par les nouveaux décrets, qui conduit à une certaine variabilité au niveau de la taille (gobelet, cordon) et des écartements entre rangs, est également un élément à considérer avec attention dans cette problématique entretien des sols.

Des expérimentations ont donc été mises en place dans ce sens, complétées par une étude économique, de façon à prendre en compte les coûts de production et par une évaluation environnementale de ces techniques.

Dispositifs expérimentaux

Les expérimentations ont été mises en place en 2008 sur deux parcelles à sol profond et dont les pentes sont de 8-9 %. Ces parcelles (l'une représentative de la situation actuelle en termes de mode de conduite et l'autre ayant été aménagée en arrachant un rang sur deux et en transformant la taille gobelet en taille cordon) sont situées l'une à côté de l'autre (**tableau 1**).

Tableau 1 : Parcelles de Saint-Etienne-la-Varenne

Cépage	Gamay	
Porte-greffe	SO4	
Sol	Granitique	
Parcelle	Non transformée	Transformée
Sable	75 %	77 %
Argile	7 %	7 %
Année de plantation	1988	1985 et 1992
Densité de plantation	1,1 m x 1 m	2,2 m x 1 m
Taille	Gobelet/échalas	Cordon

3 modalités sont comparées sur chaque parcelle (4 répétitions en blocs – **tableau 2**).

Tableau 2 : Description des modalités

Non transformée	
C	Témoin désherbé chimiquement
E	Enherbement sur l'inter-rang et désherbage chimique sur le rang
M	Désherbage mécanique sur l'inter-rang et sur le rang
Transformée (en avril 2008)	
EC	Enherbement sur l'inter-rang et désherbage chimique sur le rang
EM	Enherbement sur l'inter-rang et désherbage mécanique sur le rang
M	Désherbage mécanique sur l'inter-rang et sur le rang

L'enherbement (à base de pâturin des prés) a été mis en place au printemps 2008 : ½ de la surface sur la partie non transformée et ¾ de la surface sur la partie transformée.

Les contrôles suivants sont réalisés :

- poids des bois de taille, surface externe du couvert végétal vigne (SECV), analyses des pétioles début véraison, pourriture grise ;
- observations floristiques ;
- contrôles classiques à la vendange : composantes du

rendement, qualité des baies ;

- minivinifications (40 kg) : une minicuve = ensemble des 4 répétitions ;
 - analyse de terre, analyse biomasses microbienne et lombricienne en début et fin d'expérimentation.
- L'étude a été conduite sur 6 années (2008-2013).

Opérations d'entretien du sol (tableau 3)

Le nombre d'interventions dépend, bien entendu, des caractéristiques climatiques du millésime (voir ci-contre) qui favorisent plus ou moins le développement des adventices ou de l'herbe semée.



Désherbage mécanique

Tableau 3 : Nombre d'interventions annuelles (moyenne sur 6 ans)

Non transformée	
C	2,2 passages désherbage chimique (mixte : glyphosate/flazasulfuron puis isoxaben-oryzalin)
E	2 passages désherbage chimique sous le rang (mixte : id ci-dessus) et 2 tontes de l'inter-rang
M	4,3 passages désherbage mécanique (buttage, débattage, lames sous le rang + charrue et griffes sur l'inter-rang)
Transformée	
EC	1,8 passage désherbage chimique (id ci-dessus) sous le rang et 2 tontes de l'inter-rang
EM	3 passages désherbage mécanique sous le rang (id ci-dessus) et 2 tontes de l'inter-rang
M	4,7 passages désherbage mécanique (id ci-dessus)

Caractéristiques climatiques des millésimes

2009 et 2011 ont été les années les plus chaudes et les plus sèches (plutôt l'été pour 2009 et le printemps pour 2011). A l'inverse, 2008 a été frais et humide, en particulier l'été.

Les autres millésimes sont dans la moyenne au niveau température. 2010 a été sec en été, contrairement à 2012, arrosé en début de printemps et en été. 2013 a été caractérisé par des pluies moyennes, un printemps frais et un été chaud.

Résultats

1. Observations floristiques

Dans l'ensemble, les parties dés herbées chimiquement présentent très peu de développement d'adventices (taux de recouvrement <1 %). Les développements d'adventices ont été faibles en 2008 sur les parties dés herbées mécaniquement, malgré la pluviosité du millésime. Cela s'explique par le passé de dés herbage chimique des deux parcelles.

Les parties dés herbées mécaniquement présentent des salissements variables suivant les années. Sur la partie non transformée, ces développements restent convenables (20 %), alors que, sur la partie transformée, ils peuvent être très importants en cas de printemps humides : jusqu'à 80 % en 2012 et 2013 en été. Egalement en cas de début d'été pluvieux : cas de 2011. Mais les interventions ont également été moins nombreuses ces années sur la partie transformée.

En termes floristiques, les deux parcelles sont à dominante sétaire-digitaire, morelle et séneçon. On note une proportion moins importante de morelle sur

les parties dés herbées chimiquement à partir de 2010, en lien avec le changement d'herbicide de pré-levée : flazasulfuron puis isoxaben-oryzalin.

Les parties dés herbées mécaniquement présentent un développement plus important de liseron et d'amarante sur la partie non transformée. Sur la partie transformée, la même constatation est faite avec, en plus, développement du séneçon. On note également la présence de rumex petite oseille et plantain en fin d'expérimentation.

Les parties en herbées (initialement à base de pâturin des prés) sont restées présentes tout au long des 6 années. Même si la surface réellement couverte a pu fluctuer, elle est toujours restée au minimum à 70-80 % de la surface initiale. Par contre la flore a évolué, avec implantation de trèfle blanc, de trèfle des champs et présence ponctuelle de séneçon, d'érigéron et de nombreuses composées.

2. Résultats viticoles

Bois de taille

Sur la partie non transformée, C a tendance à être plus vigoureux que E les 3 premières années d'étude, mais sans différence significative.

Sur la partie transformée, EM est moins vigoureux, avec, en moyenne, un poids du sarment inférieur de

25 %. Les différences sont significatives 3 années sur 5 avec M et 2 années sur 5 avec EC.

A noter qu'aucune différence n'a été mise en évidence sur la SECV.

Analyses pétiolaires (tableau 4)

Les différences sont peu nombreuses et variables d'un millésime à l'autre sur la partie non transformée. La modalité E présente des teneurs en azote plus faibles, en particulier par rapport à C, mais les différences ne sont significatives que 2 années sur 6.

Sur la partie transformée, les teneurs en azote des modalités enherbées (EC et EM) sont inférieures et de façon significative 4 années sur 6, mais avec des écarts faibles : 5-7 % en moyenne. EM présente un poids de pétiole inférieur (les différences n'étant pas significatives), en lien avec sa vigueur plus faible.

Tableau 4 : Analyses pétiolaires (moyenne 2008-2013)

	Non transformée			Transformée		
	C	E	M	EC	EM	M
Poids 50 pétioles g	5,8	5,8	5,7	6,6	6,0	6,8
N g/kg	6,0	5,4	5,7	5,4	5,5	5,8
Ca g/kg	16,7	16,0	16,2	14,9	14,1	15,7
P g/kg	1,4	1,4	1,0	2,6	2,8	2,3
K g/kg	36,7	36,9	35,0	29,6	30,3	25,7
Mg g/kg	3,4	2,8	3,0	2,9	2,5	3,0
K/Mg	12	14	13	11	13	10

Résultats à la vendange (tableau 5)

Sur la partie non transformée, le rendement est très légèrement supérieur sur la modalité C (10 % en moyenne) mais les différences ne sont significatives qu'une seule année. Le poids moyen des baies est plus faible sur E, notamment par rapport à C, 3 années sur 6.

Le pH des baies de E est inférieur 2 années sur 6. Aucun effet sur la sensibilité à la pourriture grise n'est mis en évidence.

Les baies de la modalité E sont moins riches en azote ammoniacal (3 années par rapport à M et 4 années par rapport à C) : 79 mg/L en moyenne contre 92 pour M et 95 pour C.

Sur la partie transformée, on ne constate ni de différence de rendement, ni de différence de maturité des baies. La modalité M est plus sensible à la pourriture grise 2 années sur 4.

Les baies des modalités enherbées sont moins riches en azote ammoniacal, la modalité EC étant plus riche que EM : 50 mg/L pour EM, 64 pour EC et 82 pour M.

Tableau 5 : Résultats de récolte (moyenne 2008-2013)

	Non transformée			Transformée		
	C	E	M	EC	EM	M
Poids vendange kg/cep	1,45	1,42	1,37	1,95	1,93	2,07
Nombre de grappes /cep	13,6	13,9	13,5	15,0	14,9	15,4
Poids grappe g	106	102	100	136	135	138
Poids 100 baies g	214	198	205	202	199	202
Degré probable % vol.	11,4	11,5	11,6	11,5	11,4	11,5
Acidité totale g H2SO4/L	6,1	6,1	6,1	5,8	5,8	5,8
pH	3,19	3,17	3,19	3,17	3,16	3,19
Azote ammoniacal mg/L	95	79	92	64	50	82
Fréquence pourri %	29	23	24	34	16	42
Intensité pourri %	3,7	2,8	3,3	3,7	2,1	6,7

3. Résultats sur le sol

Analyses de terre

On ne constate pas de différence d'évolution des paramètres mesurés sur la partie non transformée. Sur la partie transformée, le taux de matière organique

chute de façon plus importante sur la partie désherbée mécaniquement.

Micro-organismes (analyses réalisées en collaboration avec le laboratoire SEMSE)

Sur la partie non transformée (**tableau 6**), la biomasse microbienne et l'azote potentiellement minéralisable sont inférieurs sur C.

Sur la partie transformée (**tableau 7**), EM présente une biomasse microbienne et un azote minéralisable supérieurs à M, lui-même présentant des valeurs supérieures à EC sur ces 2 paramètres.

Ces derniers sont supérieurs sur l'inter-rang dans les modalités enherbées (E et EC), excepté pour la modalité EM.

Ils sont d'ailleurs bien corrélés entre eux, excepté pour les inter-rangs des modalités enherbées de la partie transformée. Ils sont également corrélés au pH du sol, plus particulièrement l'azote minéralisable, sauf, là encore, pour les inter-rangs des modalités enherbées de la partie transformée.

Lombriciens (analyses réalisées en collaboration avec l'Université Rennes 1)

Sur la partie non transformée (**tableau 6**), l'abondance lombricienne est supérieure sur M par rapport à E, C étant intermédiaire. M présente également une biomasse lombricienne plus élevée mais à la fois par rapport à E et à C.

Sur la partie transformée (**tableau 7**), on ne constate pas de différence sur l'abondance. La biomasse lombricienne est par contre inférieure sur M.

Il est à noter la faible diversité spécifique du milieu, qui est très affecté par les pratiques agricoles.

Tableau 6 : Non transformée - Biomasse microbienne, azote potentiellement minéralisable et données lombrics (printemps 2014)

	Trt stat	C	E	M
MOV* 0-2 mm mg C/kg	S	61 b	129 a	131 a
MOV % Ct %	S	2,0 b	3,4 a	3,2 ab
N min 0-2 mm mg/kg	S	3,7 b	7,5 a	7,6 a
N min % Nt %	S	1,6 b	3,5 ab	4,2 a
Abondance lombrics individus/m ²	S	59 ab	40 b	88 a
Biomasse lombrics g/m ²	S	31,4 b	29,6 b	83,3 a

* Matière Organique Vivante

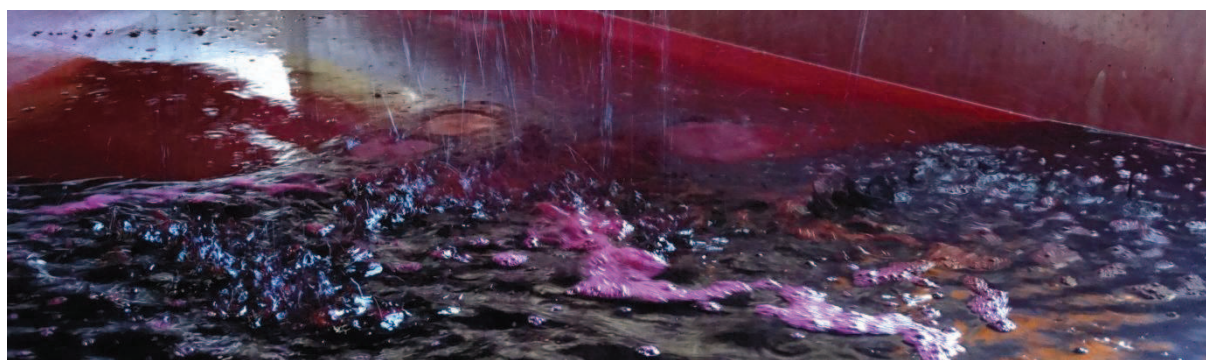
Tableau 7 : Transformée - Biomasse microbienne, azote potentiellement minéralisable et données lombrics (printemps 2014)

	Trt stat	EC	EM	M
MOV* 0-2 mm mg C/kg	S	126 c	304 a	164 b
MOV % Ct %	ns	5,1	6,4	4,6
N min 0-2 mm mg/kg	S	6,4 c	18,1 a	12,1 b
N min % Nt %	S	3,7 b	6,9 a	5,4 ab
Abondance lombrics individus/m ²	ns	109	87	65
Biomasse lombrics g/m ²	S	86,2 a	50,5 a	30,8 b

4. Résultats œnologiques

Les différentes modalités ont été vinifiées en vin de garde, en minicuves de 40 kg de vendange. Une minicuve correspond à l'assemblage des 4 répétitions. La levure utilisée est L1515 et la durée de macération

est de 6-7 jours. Un ajout d'azote a été réalisé si la teneur en azote ammoniacal des moûts était faible. Cet ajout a été quasi-systématique sur la partie transformée.



Pressurage d'un vin rouge de Gamay

Déroulement des fermentations

Les fermentations alcooliques (FA) sont en général plus longues sur les modalités enherbées sur l'inter-rang, que ce soit sur la partie non transformée ou la partie transformée : 4 années sur 6. Les différences sont toutefois au maximum de 3 jours et en moyenne d'une journée.

Sur la partie non transformée, M présente également des durées de FA plus importantes 3 années sur 6, mais d'une seule journée.

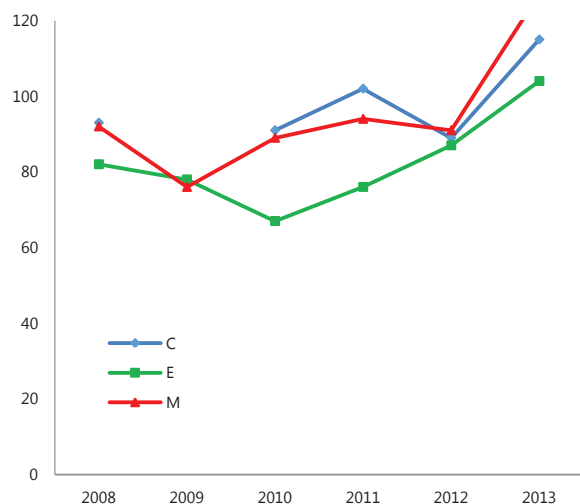


Figure 1 : Azote ammoniacal encuvage (mg/L) en fonction des millésimes - Partie non transformée

Ces écarts sont à relier aux teneurs en azote ammoniacal des moûts, plus faibles sur les modalités enherbées : 2 % à 26 % en moins avec une moyenne de 16 % sur la partie non transformée (**figure 1**), 18 %

à 52 % en moins avec une moyenne de 38 % sur la partie transformée (**figure 2**).

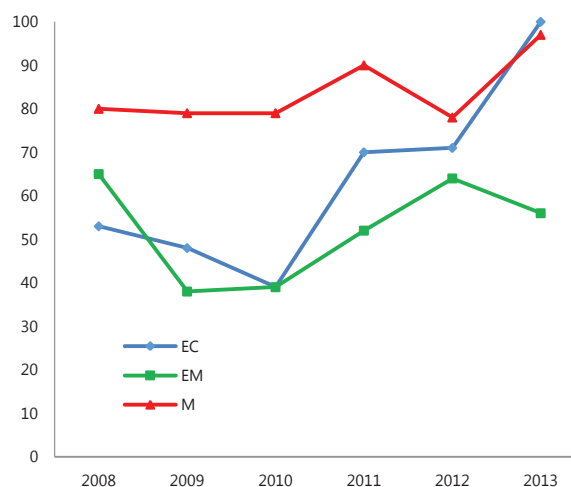


Figure 2 : Azote ammoniacal encuvage (mg/L) en fonction des millésimes - Partie transformée

Les teneurs sont plus faibles sur la partie transformée, en liaison avec la proportion plus importante de surface enherbée ($\frac{2}{3}$ contre $\frac{1}{2}$).

Les parties désherbées mécaniquement (M par rapport à C dans la partie non transformée et EM par rapport à EC dans la partie transformée) ont tendance à présenter des teneurs en azote plus faibles et des durées de FA plus importantes que les parties désherbées chimiquement, en liaison avec un développement d'adventices plus important. Les différences restent cependant faibles.

Analyses des vins embouteillés (tableau 8)

Sur la partie non transformée, l'acidité totale est supérieure sur E, 4 années sur 6, en lien avec une acidité volatile (AV) légèrement plus élevée, mais les écarts sont faibles (+0,1 g H₂SO₄/L en moyenne par rapport à C). Le pH de cette modalité est plus faible que celui de C (-0,02 en moyenne), 3 années sur 6, comme cela avait déjà été noté sur baies.

L'intensité colorante est inférieure pour C, 3 années sur 6, en lien avec sa teneur en anthocyanes par rapport à M et son pH par rapport à E. C est également inférieur en indice polyphénols totaux (IPT), notamment par rapport à M, et moins riche en tanins par rapport à M et E, 4 années sur 6.

Sur la partie transformée, l'AV est supérieure sur EC, 5 années sur 6, en particulier par rapport à M, avec un écart de 0,04 g H₂SO₄/L en moyenne. On ne constate pas de différence sur les caractéristiques de couleur et sur les polyphénols.

Tableau 8 : Analyses des vins embouteillés (moyenne 2008-2013)

	Non transformée			Transformée		
	C	E	M	EC	EM	M
Acidité totale g H ₂ SO ₄ /L	3,44	3,54	3,48	3,46	3,49	3,53
Acidité volatile g H ₂ SO ₄ /L	0,19	0,22	0,19	0,24	0,21	0,20
pH	3,54	3,52	3,53	3,51	3,50	3,49
Intensité colorante 420+520+620	5,10	5,37	5,49	6,85	6,69	6,83
Indice polyphénols totaux	40	41	41	45	45	46
Anthocyanes mg/L	158	154	164	190	182	190
Tanins mg/L	1471	1515	1539	1721	1724	1741

Analyses sensorielles

Les vins ont été dégustés 7-8 mois après la fin des vinifications, puis 1 an plus tard. Certains millésimes ont également été redégustés 2 ans plus tard.

Les différences observées sont rarement significatives et très variables d'un millésime à l'autre, en particulier en première dégustation. Sur la partie non transformée, à la deuxième dégustation, la tannicité est

supérieure sur E par rapport à C, 2 années sur 6. L'intensité acide est plus faible pour E par rapport à M à la troisième dégustation, 2 années sur 4. Sur la partie transformée, EC est mieux noté visuellement que EM lors de la dégustation +1 an, 2 années sur 6. L'intensité acide est jugée plus importante sur M par rapport à EM lors de la dégustation +2 ans, 2 années sur 4.

5. Résultats économiques (figure 3)

L'estimation des coûts a été réalisée avec l'outil Viticoût®, uniquement à partir des interventions réalisées pour l'entretien du sol et en prenant en compte l'évolution annuelle des coûts des différents postes (carburant, fournitures, main d'œuvre – voir en encart Hypothèse pour le calcul des coûts).

Des variations annuelles (données non présentées) sont enregistrées, en lien avec les interventions réalisées et les produits (herbicides) utilisés.

En moyenne sur la partie non transformée, la modalité C présente un coût global inférieur, caractérisé par une forte proportion de fournitures (herbicides) et un faible recours à la main d'œuvre. La modalité E, avec un coût global supérieur de 10 %, double le recours à la main d'œuvre, la proportion outil-traction augmentant par rapport à C. La modalité M est la plus coûteuse (+35 % par rapport à C), avec un recours important à la main d'œuvre (6 fois plus que C) et à la traction (un peu plus de 2 fois plus que C).

Sur la partie transformée, c'est la modalité M qui présente le coût global le plus faible, toujours avec un recours important à la traction et aux outils. Mais les autres modalités sont très proches sur ce poste. La modalité EC, avec un coût supérieur de 11 %, se caractérise, outre l'emploi des herbicides, par une diminution de l'emploi de main d'œuvre (-25 %). La modalité EM est la plus coûteuse (+27 % par rapport à M), avec un recours légèrement supérieur à la main d'œuvre (+8 %) et surtout une augmentation des coûts liés aux postes outil et traction (+32 % et +35 % respectivement par rapport à C et à EC).

Si on compare les deux essais, au niveau des modalités communes, on constate que la transformation du mode de conduite permet de diminuer le coût de

l'entretien du sol de 15 % pour enherbement inter-rang/désherbage chimique rang (E et EC) et de 38 % pour le désherbage mécanique intégral (M), permettant de faire passer cette technique de la moins intéressante sur la partie non transformée à la plus intéressante sur la partie transformée, économiquement parlant.

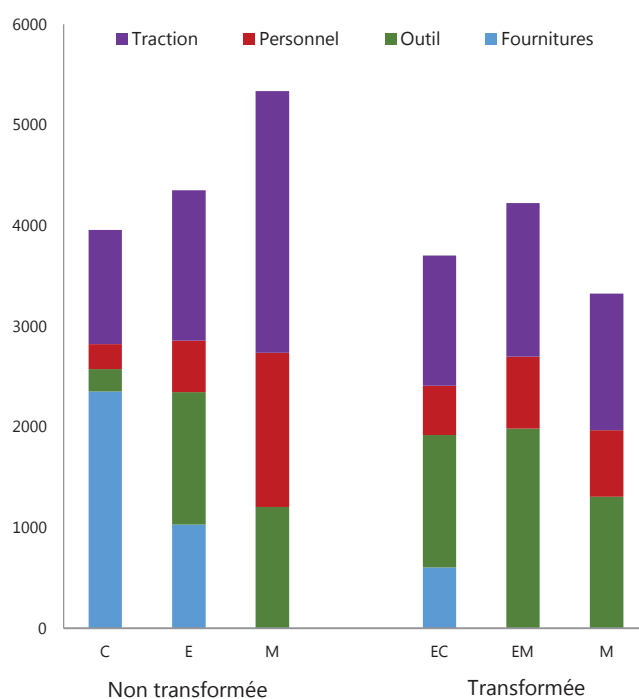


Figure 3 : Coûts en euros par ha pour l'entretien du sol

Hypothèses pour le calcul des coûts

Non transformée

Tracteur enjambeur 60 000€

Travail sur 2 rangs par passage pour la tonte et le désherbage chimique

Combinaisons de travail du sol intercep et inter-rang

Transformée

Tracteur interligne 35 000€

Travail sur 1 rang par passage pour tous les matériels

Les outils de travail dans l'inter-rang sont utilisés à 6 km/h, les interceps à 2,5. La plus petite vitesse est prise en compte dans le cas des combinaisons.

Pour le coût de la main d'œuvre, deux catégories sont distinguées : qualifiée (pour les opérations avec machine) et non qualifiée avec des coefficients différents appliqués au SMIC horaire brut (source INSEE).

Le coût du carburant est issu des publications Agreste.

6. Evaluation environnementale

Une évaluation des impacts environnementaux de type ACV (évaluation reprenant les principes de la méthode de l'ACV, sans la phase de revue critique externe indispensable à la qualification d'ACV selon la norme internationale ISO 14040) a été réalisée pour comparer les 3 modes d'entretien du sol sur les deux essais. Cette étude prend en compte les produits suivants : semences, herbicides et eau de dilution, carburant consommé par les engins agricoles. Deux types de flux n'ont pas été pris en compte : l'eau de lavage du pulvérisateur et les engins agricoles eux-mêmes. Ainsi, la fabrication et la fin de vie des engins agricoles ne sont pas prises en compte alors que la fabrication des herbicides et les émissions liées à leur application le sont. Les périmètres ne sont donc pas constants entre les modalités désherbage chimique et mécanique. La lecture des résultats comparatifs présentés ci-dessous doit prendre en compte cette limite.

Les impacts environnementaux sont exprimés selon 3 indicateurs : le changement climatique, l'eutrophisation et l'épuisement des ressources fossiles (cf : Quels impacts environnementaux de la production de vin en Beaujolais ? p 10)

Sur la partie non transformée (**figure 4**), C présente l'impact environnemental le plus important sur deux indicateurs en raison principalement de l'utilisation d'herbicides dont la fabrication impacte le changement climatique et les émissions liées à l'application au champ qui se retrouvent dans l'indicateur d'eutrophisation. A l'inverse, M a beaucoup moins d'influence sur ces indicateurs. E est intermédiaire, mais plus proche de C, du fait de l'utilisation d'herbicides sur le rang mais également de l'impact non négligeable des semences (production) sur ces indicateurs. Logiquement M présente l'effet le plus important sur l'épuisement des ressources fossiles, principalement du fait de la consommation en carburant. C et E sont tout de même assez proches de M, en lien avec la fabrication des herbicides pour C (et dans une moindre mesure pour E) et la consommation de carburant pour les tontes sur E. Il est à noter le fort impact du Roundup® sur ces 3 indicateurs dans le cas des parties désherbées chimiquement.

Sur la partie transformée (**figure 5**), on retrouve l'influence des herbicides et de la production de semences (d'autant plus que la surface enherbée est plus importante que dans la partie non transformée) sur les indicateurs eutrophisation et changement climatique, ainsi que le peu d'influence de M comparativement. L'épuisement des ressources fossiles

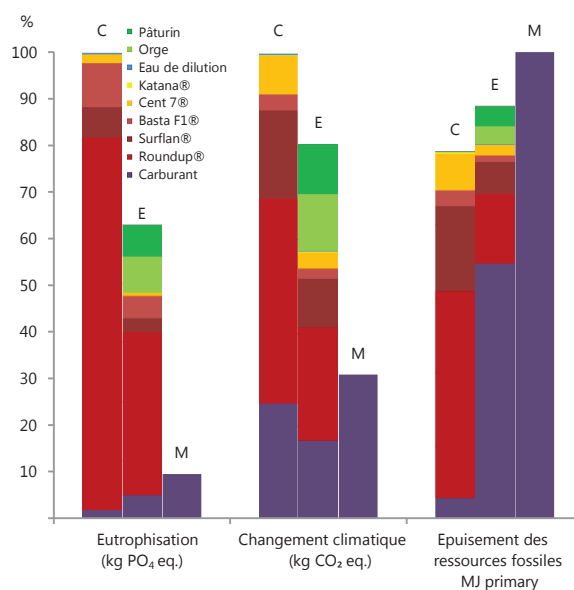


Figure 4 : Evaluation environnementale – Partie non transformée

est plus important sur les modalités enherbées, du fait principalement de la consommation de carburant liée aux tontes. M semble donc avoir un impact environnemental plus faible que les modalités enherbées sur ces 3 indicateurs. Il est cependant probable qu'une évaluation environnementale prenant en compte la fabrication et la fin de vie des engins agricoles augmenterait les impacts de M par rapport à EC et EM.

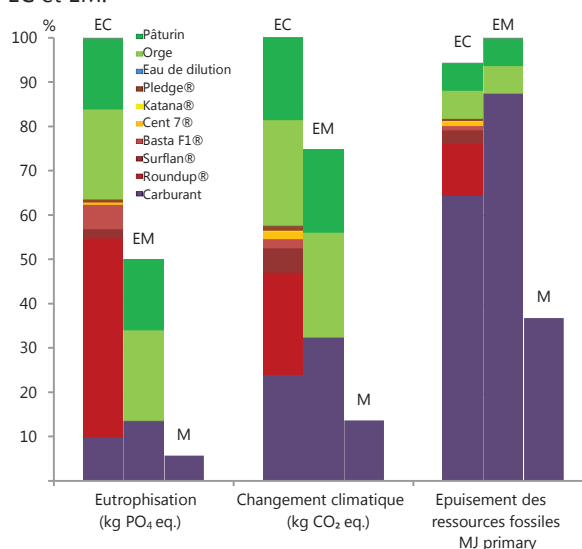


Figure 5 : Evaluation environnementale – Partie transformée

Conclusion

Dans la partie non transformée, les modalités expérimentées donnent des résultats très proches aux niveaux viticole et œnologique. En particulier, la modalité enherbée sur l'inter-rang est peu impactée par la concurrence de l'enherbement, même si des écarts, toutefois faibles, sont enregistrés sur l'azote pétiolaire ou l'azote ammoniacal des moûts. Le désherbage mécanique n'a pas non plus de répercussion sur la vigne ou les baies : le développement des adventices a en général été bien contrôlé, ne permettant pas de concurrence avec la vigne et le passage des outils ne semble pas avoir eu de répercussion sur le fonctionnement du système racinaire. Les vins ne présentent pas de différence à la dégustation, même si le désherbage chimique a tendance à diminuer la couleur et la richesse en tanins des vins.

Cette dernière modalité reste la moins coûteuse, en particulier en termes de main d'œuvre. Le désherbage mécanique revient nettement plus cher et se montre gourmand en main d'œuvre. L'enherbement sur l'inter-rang se situe de façon intermédiaire sur ce plan économique.

L'impact de ces modalités sur les organismes du sol est sensiblement différent pour les microorganismes et les lombriciens. La biomasse microbienne s'avère principalement dépendante des entrées de carbone *via* les plantes (enherbement ou adventices). L'efficacité du désherbage chimique se traduit par un niveau minimal de la biomasse microbienne, alors que les valeurs les plus élevées sont enregistrées sous l'enherbement. Comme les microorganismes, les populations lombriciennes sont favorisées par les entrées de matière organique, mais elles sont aussi fortement affectées par l'humidité du sol. A cet égard, l'enherbement provoque un assèchement plus marqué du sol, ce qui limite les effets bénéfiques attendus sur l'abondance et la biomasse lombricienne. A l'opposé, le désherbage mécanique permet une meilleure conservation de l'humidité du sol. Cela permet de bien valoriser l'apport trophique non négligeable représenté par des adventices plus nombreuses que sous désherbage chimique. Le travail du sol, lorsqu'il reste superficiel comme ici pour le désherbage, ne provoque donc pas de perturbations préjudiciables pour les lombrics comme cela a été rapporté pour le labour en grandes cultures.

Dans la partie transformée, l'effet de l'enherbement de l'inter-rang est plus marqué sur la vigueur, l'azote pétiolaire et l'azote des moûts, par rapport au désherbage mécanique intégral. Le fait que la surface enherbée soit plus importante que sur la partie non

transformée ($\frac{3}{8}$ contre $\frac{1}{2}$ de la surface) explique cet impact significatif. Il en résulte un écart sur la durée de fermentation alcoolique mais sans effet sur le vin et sa qualité et une moindre sensibilité à la pourriture grise. On ne constate pas de différence au niveau du rendement.

Par contre les deux modalités enherbées ont un coût économique plus important, surtout la modalité avec désherbage mécanique sur le rang. Contrairement à la partie non transformée, c'est donc le désherbage mécanique intégral qui est le plus intéressant du point de vue économique, ici. Il revient même moins cher que le désherbage chimique intégral de la partie non transformée.

Ici encore les modalités ont des effets variables selon les organismes du sol considérés. Pour la biomasse microbienne, on retrouve bien l'effet favorable des entrées de carbone *via* les plantes, avec des valeurs toujours les plus élevées dans les inter-rangs enherbés et des valeurs minimales sous désherbage chimique. En revanche, pour les lombriciens, la variabilité spatiale du dispositif ne permet pas de mettre en évidence des différences statistiquement significatives sur leur abondance (en nombre d'individus par m²). En termes de biomasse lombricienne, les modalités EC et EM sont supérieures à M, ce qui signifie que les vers de terre sont en moyenne plus petits pour cette dernière modalité. Cela reste logique car les individus survivant aux désherbages mécaniques sont ceux évitant cette perturbation et donc possédant une biomasse plus faible. Le contrôle plus ou moins efficace des adventices a un impact à la fois sur les entrées de matière organique et sur le régime hydrique du sol, ces deux facteurs jouant de façon opposée sur les lombriciens.

Au niveau de l'évaluation environnementale, M semble avoir un impact plus faible que les autres modalités aussi bien sur la partie transformée que sur la partie non transformée, sur les indicateurs considérés. Il est probable qu'une évaluation environnementale prenant en compte la fabrication et la fin de vie des engins agricoles augmenterait les impacts de M par rapport aux autres modalités.

De façon à améliorer la faisabilité de ces techniques d'entretien du sol et leur appropriation par les viticulteurs, de nouvelles expérimentations ont été mises en place, d'une part pour limiter la concurrence de l'enherbement par l'utilisation d'engrais vert, et, d'autre part, pour faciliter l'entretien du rang de vigne par l'enherbement sous le rang, l'inter-rang étant désherbé mécaniquement.

Remerciements : Les travaux présentés ont bénéficié du soutien financier de la région 