

# Alt'Glypho – Alternatives au glyphosate

## Appel à Projets FAM



- Rapport à 24 mois -
- Décembre 2020 -

Partenaires du projet :



## **RESUME DE L'ETUDE**

Cette étude s'inscrit dans le cadre du projet Alt Glypho qui vise à préparer les viticulteurs à la sortie programmée du glyphosate en testant et en proposant des solutions ou des combinaisons de solutions permettant d'assurer un entretien des sols viticoles compatible avec les exigences et les contraintes technico-économiques des exploitations. Une alternative récente se focalise sur l'application d'acide pélargonique, un acide carboxylique ayant pour effet de griller la cuticule des plantes sur lesquelles il est appliqué. Plusieurs questions se posent quant à la méthode optimale d'application du produit.

Cette étude se concentre sur l'analyse d'efficacité de différentes méthodes de pulvérisation de l'acide pélargonique.

Les travaux développés dans cette expérimentation portent sur :

- La mise en place d'un dispositif expérimental permettant de comparer efficacement diverses modalités d'application de l'acide pélargonique.
- La comparaison entre deux buses de pulvérisation (buses XR et IDK) et opposant une pulvérisation fines gouttes et grosses gouttes.
- L'effet quantité de produit pulvérisé.
- L'effet significatif ou non de l'ajout d'adjuvant.

Le produit d'intérêt testé durant cette étude est le Beloukha.

## **I) ESSAI D'OPTIMISATION DE L'APPLICATION D'ACIDE PELARGONIQUE**

Une expérimentation a été menée début septembre 2020 afin de tester différentes modalités d'application du Beloukha. Les tests ont été effectués sur une parcelle (arrosée) présentant un enherbement bien développé, vert et relativement régulier. L'acide pélargonique a été appliqué à l'aide d'un pulvérisateur à dos et selon différentes modalités. Le Beloukha a été dilué au dixième dans de l'eau. Plusieurs facteurs ont été testés dans cette expérimentation :

- Le type de buses utilisées (fines ou grosses gouttes)
- Le nombre de passages de pulvérisation (et donc la dose apportée)
- L'ajout ou non d'un adjuvant à la bouillie

### ***1. Matériels et méthodes***

- *Dispositif expérimental :*

Après avoir isolé un terrain de verdure d'environ 100 mètres carré, des microplacettes (0,3 m de large et 1 m de long) ont été dessinées à l'aide de fils tendus. Au total, un quadrillage sur le terrain a permis de tracer 75 placettes permettant de tester plusieurs modalités d'application de Beloukha. Chaque placette est numérotée et identifiée. Les différentes modalités d'application de l'acide pélargonique ont été attribuées aléatoirement aux placettes pour s'affranchir de l'hétérogénéité du terrain d'essai.

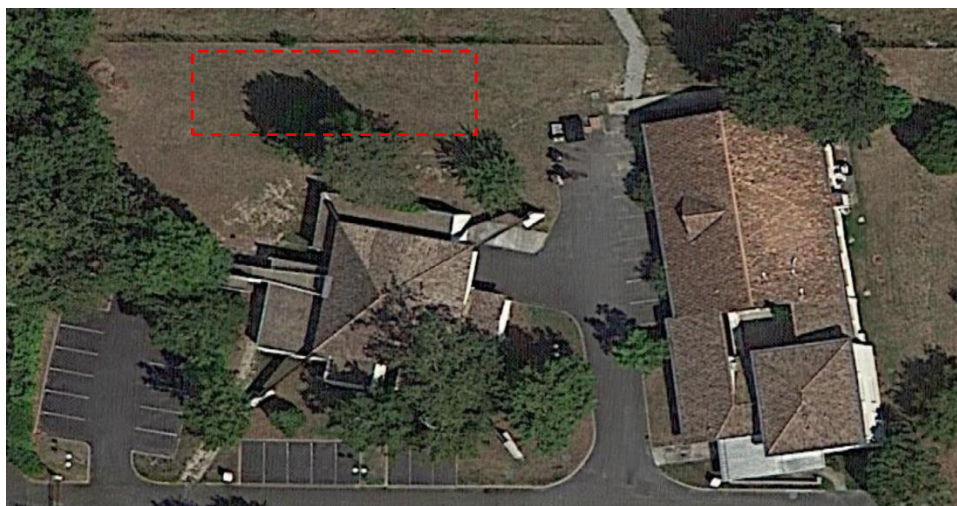


Figure 1 : Localisation de l'expérimentation au niveau du pôle IFV nouvelle aquitaine

IDK 600 L/Ha AD	IDK 450 L/Ha	XR 150 L/Ha	XR 150 L/Ha AD	IDK 600 L/Ha	IDK 450 L/Ha AD	XR 150 L/Ha	XR 450 L/Ha AD	IDK 150 L/Ha AD	TEMOIN	XR 600 L/Ha	IDK 300 L/Ha	IDK 150 L/Ha AD	IDK 600 L/Ha AD	XR 600 L/Ha
IDK 300 L/Ha	IDK 015 L/Ha AD	XR 150 L/Ha	XR 450 L/Ha	IDK 015 L/Ha AD	XR 600 L/Ha	XR 300 L/Ha	XR 300 L/Ha AD	IDK 150 L/Ha AD	IDK 150 L/Ha	IDK 450 L/Ha AD	IDK 600 L/Ha	IDK 300 L/Ha	XR 150 L/Ha AD	XR 300 L/Ha
TEMOIN	XR 150 L/Ha AD	XR 300 L/Ha	TEMOIN	IDK 150 L/Ha	TEMOIN	XR 450 L/Ha	IDK 150 L/Ha	XR 300 L/Ha	XR 300 L/Ha AD	IDK 600 L/Ha AD	IDK 600 L/Ha	XR 600 L/Ha	XR 600 L/Ha AD	XR 300 L/Ha AD
IDK 450 L/Ha AD	XR 450 L/Ha AD	IDK 600 L/Ha	XR 600 L/Ha AD	IDK 300 L/Ha	TEMOIN	XR 450 L/Ha AD	XR 450 L/Ha	TEMOIN	TEMOIN	IDK 450 L/Ha	XR 150 L/Ha AD	IDK 600 L/Ha AD	XR 450 L/Ha	IDK 015 L/Ha AD
IDK 450 L/Ha	XR 600 L/Ha AD	XR 450 L/Ha AD	XR 150 L/Ha	XR 600 L/Ha AD	TEMOIN	IDK 150 L/Ha AD	IDK 150 L/Ha	IDK 015 L/Ha AD	IDK 450 L/Ha AD	TEMOIN	TEMOIN	XR 300 L/Ha AD	TEMOIN	IDK 450 L/Ha

Figure 2 : Notation des microplacettes dans le dispositif expérimental. La signification des notations est indiquée dans le paragraphe suivant. Les bandes vertes sont des espaces de passage de 50 cm pour les expérimentateurs.



Figure 3 : A gauche : Mise en place des microplacettes. Sur la droite : 48h après traitement Beloukha, les rangées vertes sont des rangées aménagées pour le déplacement des expérimentateurs. Les zones noircies ont été traitées à l'acide pélargonique.

- *Modalités étudiées :*

Deux premières modalités constituent la base de l'étude à savoir la comparaison entre les buses IDK (buse antidérive à induction d'air produisant de grosses gouttelettes) et XR (buse produisant de fines gouttelettes). Les deux buses étudiées sont les buses IDK 010 et XR 010 délivrant toutes deux un débit de 0,39 L/min à 3 bars.

Plusieurs modalités concernent le volume de Beloukha appliqué et donc la dose appliquée puisque la concentration de Beloukha (10 %) est la même dans toutes les modalités. Les volumes de bouillie /ha différents ont été obtenus en réalisant des passages multiples sur les placettes. Cela représente des volumes d'application de 150 L/ha, 300 L/ha, 450 L/ha et 600 L/ha. Lors de l'application du produit pendant l'expérimentation, un passage à 5 km/h permet d'obtenir un volume d'application de 150 L/ha. Un passage aller-retour représente donc 300 L/ha et deux aller-retours représentent 600 L/ha.

Enfin, chaque mesure est reproduite avec ajout d'un adjuvant. Au total, ce sont donc 16 modalités qui ont été testées avec 4 répétitions par modalité. Cela fait donc 64 placettes d'études et 11 placettes témoins.

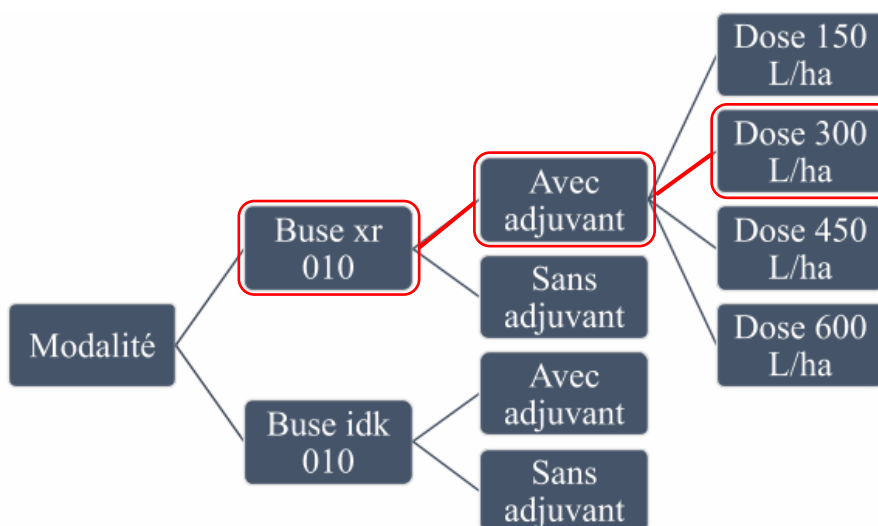


Figure 4 : Représentation des 16 modalités étudiées. En rouge, une modalité avec buses XR, ajout d'adjuvant et volume de 300 L/ha.

Lors de l'application de l'acide pélagronique, un pulvérisateur thermique à dos a été utilisé. Afin de disposer d'un paramétrage qui n'impacte pas les différentes méthodes d'application du Beloukha, la pression a été fixée à 3 bars. Pour la buse XR comme pour la buse IDK, cela représente un débit de 0,39 L/min. Afin d'augmenter le volume de produit pulvérisé, plusieurs passages ont été effectués sur une même placette sur certaines modalités. Le taux de dilution du Beloukha dans l'eau est de 10% quelle que soit la modalité considérée. Ainsi, la dose apportée d'acide pélagronique est proportionnelle au volume de bouillie / ha et varie de 16 L/ha traité à 62 L/ha (Cf. Figure 5). La dose homologuée étant de 16 L/ha en plein, le surdosage n'est autorisé que dans la mesure où il n'est effectué que sur une faible surface de terre (sous le rang).

Modalités traitées	Base	Adjuvant	Pression (bars)	Débit (L/min)	Largeur traitée (m)	Vitesse (km/h)	Nombre de passages	Vol de bouillie en plein (L/ha)	Vol de bouillie réellement appliqué (L/ha)	Inter-rang (m)	% désherbé	Dose de Beloukha (L/ha traité)	Coût du produit (€/ha) en plein	Coût du produit (€/ha) en localisé sous le rang
1	IDK 01	non	3	0,39	0,3	5	1	156	16	3	10	16	250	25
2	IDK 01	non	3	0,39	0,3	5	2	312	31	3	10	31	499	50
3	IDK 01	non	3	0,39	0,3	5	3	468	47	3	10	47	749	75
4	IDK 01	non	3	0,39	0,3	5	4	624	62	3	10	62	998	100
5	XR01	non	3	0,39	0,3	5	1	156	16	3	10	16	250	25
6	XR01	non	3	0,39	0,3	5	2	312	31	3	10	31	499	50
7	XR01	non	3	0,39	0,3	5	3	468	47	3	10	47	749	75
8	XR01	non	3	0,39	0,3	5	4	624	62	3	10	62	998	100
9	IDK 01	oui	3	0,39	0,3	5	1	156	16	3	10	16	250	25
10	IDK 01	oui	3	0,39	0,3	5	2	312	31	3	10	31	499	50
11	IDK 01	oui	3	0,39	0,3	5	3	468	47	3	10	47	749	75
12	IDK 01	oui	3	0,39	0,3	5	4	624	62	3	10	62	998	100
13	XR01	oui	3	0,39	0,3	5	1	156	16	3	10	16	250	25
14	XR01	oui	3	0,39	0,3	5	2	312	31	3	10	31	499	50
15	XR01	oui	3	0,39	0,3	5	3	468	47	3	10	47	749	75
16	XR01	oui	3	0,39	0,3	5	4	624	62	3	10	62	998	100

Figure 5 : Récapitulatif des paramètres utilisés pour les modalités traitées. Le coût à l'hectare est calculé pour un désherbage en plein et pour un désherbage en localisé sous le rang.

Pour les modalités où des adjuvants ont été appliqués, il s'agit de l'Astuss à la dose de 1 L/ha traité et de l'Actimum également à la dose de 1L/ha traité.

## 2. Mise en œuvre :

- Estimation de l'efficacité d'une modalité :

Afin d'estimer la qualité des différentes pulvérisations, des photographies ont été prises avant et après pulvérisation pour chaque placette. Les photographies ont été prises sur le même laps de temps avec la même exposition en lumière naturelle. Un programme d'analyse d'image développé sous ImageJ a permis d'estimer le pourcentage de surface verte sur une placette en utilisant un indice de végétation adapté à notre étude.

La parcelle d'étude, bien que fortement enherbée, présente des zones avec une végétation moins abondante. Le taux de surface grillée a donc été étudié en mesurant le taux de verdure avant et après traitement Beloukha pour chaque placette. En étudiant le delta entre le pourcentage de verdure avant et après traitement, il a été possible d'estimer l'efficacité du désherbage et de comparer ainsi les modalités entre elles.

- Estimation du taux de verdure via photographie RGB :

Pour fonctionner, il faut pouvoir distinguer sur une photographie l'herbe verte des zones grillées. Un programme ImageJ a donc été produit spécifiquement pour cette tâche. Le programme exploite un indice de végétation noté TGI.

Plusieurs indices existent (NDVI, VARI, TGI ...) mais dans le cadre de notre étude, le TGI a été retenu pour les raisons suivantes :

- Il est adapté aux photographies basiques RGB
- Il fonctionne très bien en proxi-détection
- Il isole correctement la végétation des zones grillées
- Il se base sur une équation robuste qui ne nécessite aucun paramétrage en fonction des images, il est cependant nécessaire de conserver la même exposition lumineuse.

Il est donc simple d'utilisation et parfaitement adapté à l'étude. Diverses images présentant les niveaux de détection obtenus en utilisant le TGI sont présentées en Annexe 1.

Le principe de détection est le suivant :

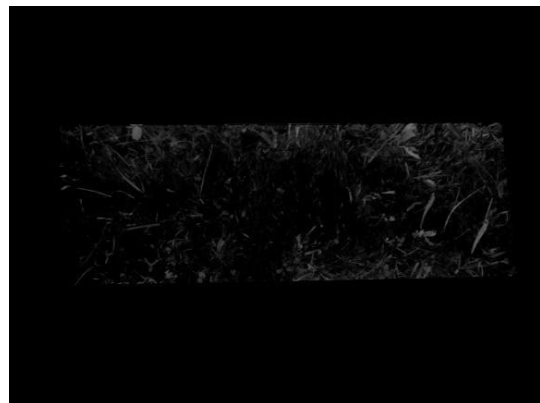
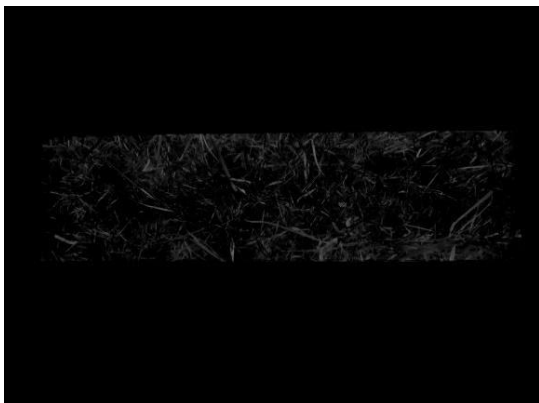
Pour chaque pixel d'une image une valeur est calculée à partir de la formule du TGI :

$$TGI = Rgreen - 0.39 \times Rred - 0.61 \times Rblue$$

- Avec Rgreen le codage couleur de la bande verte (allant de 0 à 255).
- Avec Rblue le codage couleur de la bande bleue (allant de 0 à 255).
- Avec Rred le codage couleur de la bande rouge (allant de 0 à 255).

Pour un pixel d'image codé selon 3 valeurs, une seule valeur est affichée en sortie. Une image 8 bit est alors générée et chaque pixel est alors encodé selon un niveau de gris bien précis. Un second traitement vient alors binariser l'image afin de créer deux classes de pixels : verdure et non verdure (herbe morte, sol, cailloux, métal, piquet...). Le seuil est automatiquement calculé via classification des différentes valeurs de pixels par l'algorithme. Ce seuillage automatique permet de s'assurer que toute image reçoit le même traitement. Un pourcentage de surface grillée est alors calculé pour chaque placette en divisant le nombre de pixels blancs par le nombre total de pixels qui composent l'image.

Une moyenne est alors calculée à partir des quatre répétitions pour une même modalité afin de limiter les incertitudes de mesures.



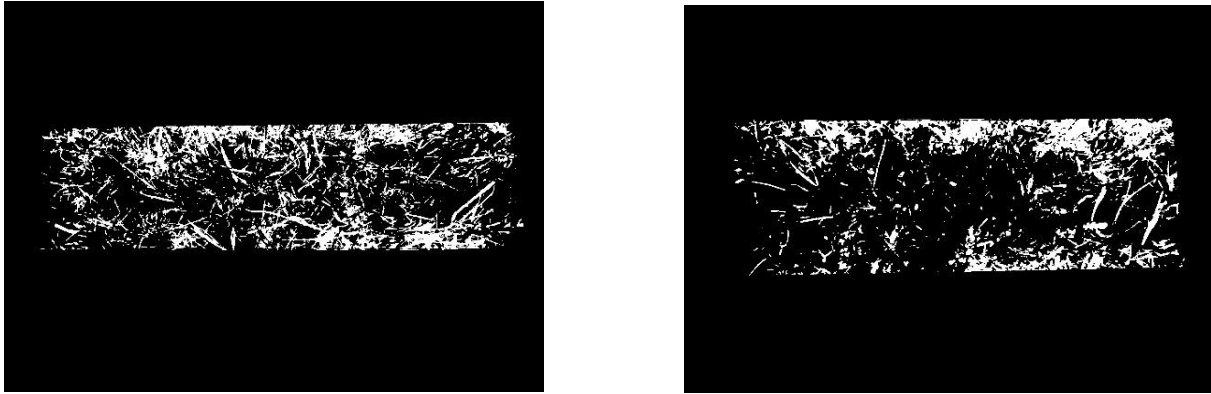






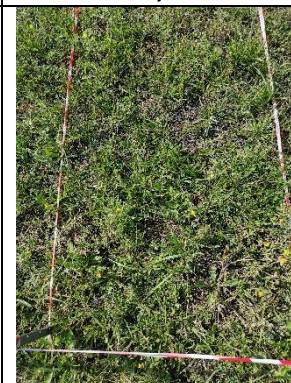



Figure 6 : Etapes de calcul pour l'estimation de la surface de verdure. La première phase consiste en un détourage de la placette d'intérêt (il s'agit des photographies couleurs). Dans un second temps l'image est recalculée à partir de la formule TGI. Une image en nuance de gris est alors générée. Chaque pixel présente une valeur définie de TGI. Enfin une image noire et blanche est générée selon un seuillage de binarisation. Les zones blanches sont donc les zones de verdure, le pourcentage est alors calculé.

- Exemple de résultats

Les photographies suivantes illustrent les différentes valeurs de taux de verdure calculées par l'algorithme. Le pourcentage de verdure est classé par ordre croissant et permet de comprendre ce que le programme interprète comme « verdure » sur une image. Si l'algorithme est utilisé plusieurs fois sur une même photographie il renverra systématiquement le même résultat.

<b>14,7</b>	<b>23,3</b>	<b>24,4</b>	<b>25,3</b>
<b>29,0</b>	<b>34,8</b>	<b>34,9</b>	<b>35,8</b>

			
<b>36,8</b>	<b>47,3</b>	<b>50,9</b>	<b>52,5</b>
			
<b>55,8</b>	<b>56,6</b>	<b>60,2</b>	<b>64</b>

*Tableau 1 : Pourcentage de verdure calculé selon divers niveaux de sécheresse*

## **RESULTATS OBTENUS**

Des séries de photos ont été prises 48 heures, 72 heures, 7 jours et 18 jours après le traitement au Beloukha. Pour chaque jeu de données, un diagramme représentant l'évolution du taux de verdure au cours du temps a été effectué. Rappelons que pour chaque modalité testée, 4 répétitions ont été effectuées et qu'une moyenne ainsi que des écarts types ont été calculés.

Les résultats issus du traitement d'image ont été confirmés par une expertise visuelle en comparant les retours humains avec les retours algorithmiques. Les résultats observés coïncident et confirment que le programme d'analyse d'image est fiable et pertinent car il retranscrit correctement les différences perçues par des experts terrain.



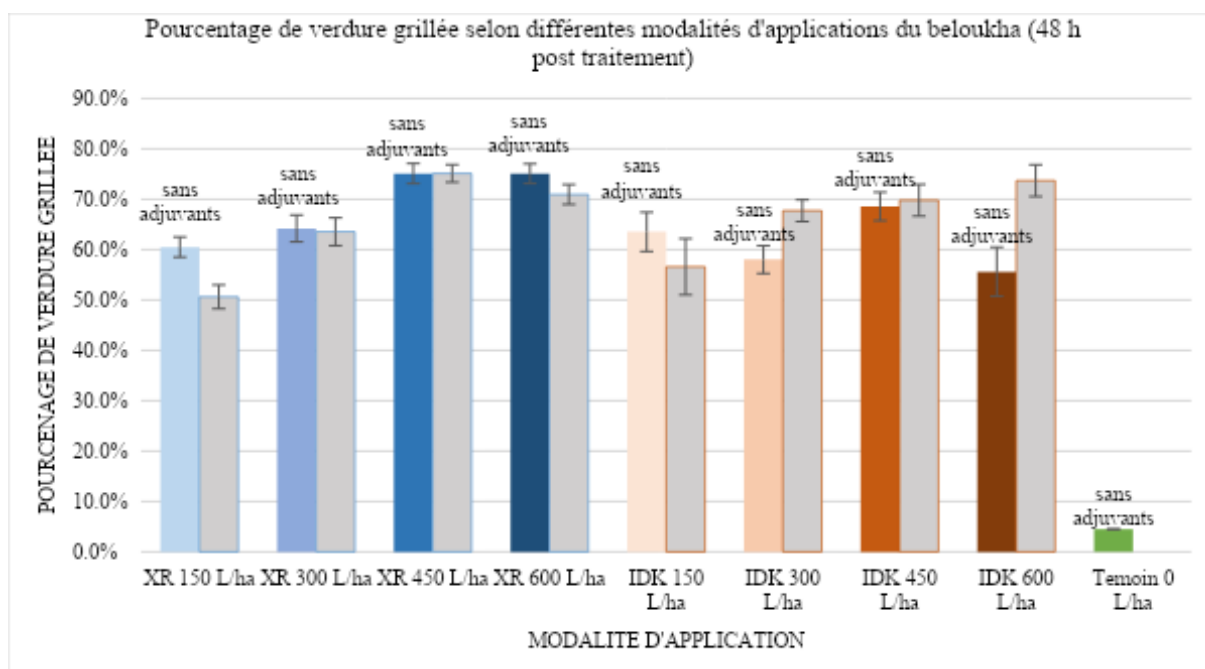


Figure 7 : Pourcentage de verdure grillée pour les différentes modalités. Les barres grises accolées aux autres barres de couleurs correspondent aux mêmes modalités. La seule différence est la présence d'adjuvant pour les barres grises. 48h post traitement

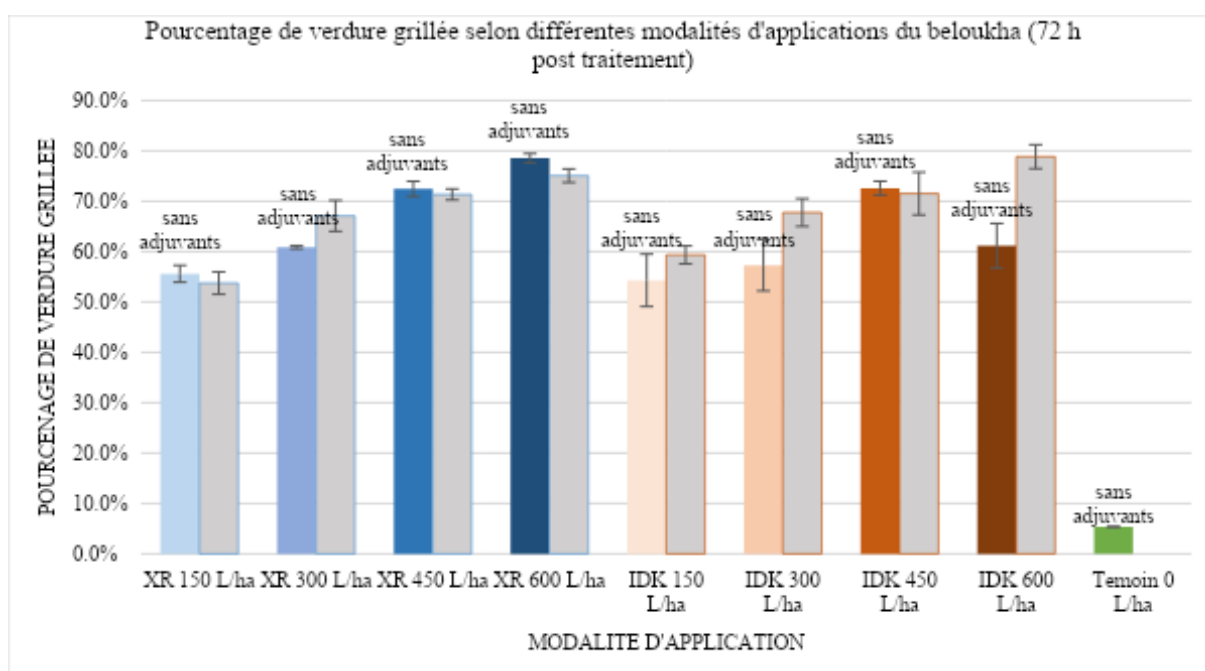


Figure 8 : Pourcentage de verdure grillée pour les différentes modalités. Les barres grises accolées aux autres barres de couleurs correspondent aux mêmes modalités. La seule différence est la présence d'adjuvant pour les barres grises. 72h post traitement

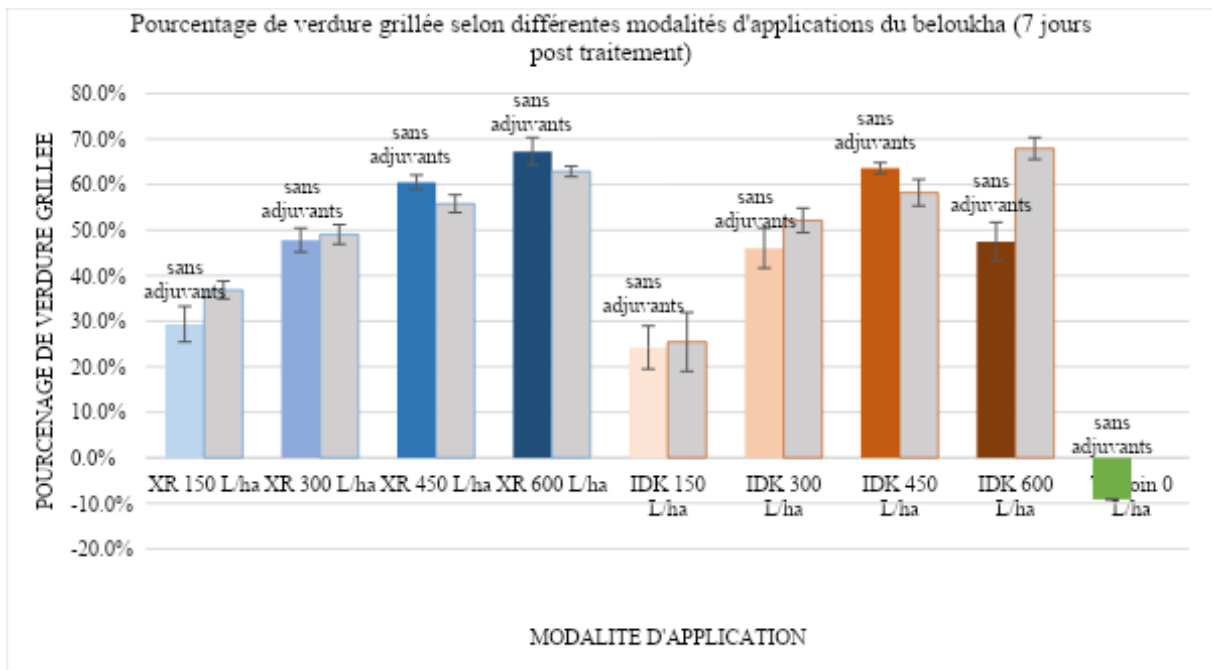


Figure 9 : Pourcentage de verdure grillée pour les différentes modalités. Les barres grises accolées aux autres barres de couleurs correspondent aux mêmes modalités. La seule différence est la présence d'adjuvant pour les barres grises. 7j post traitement

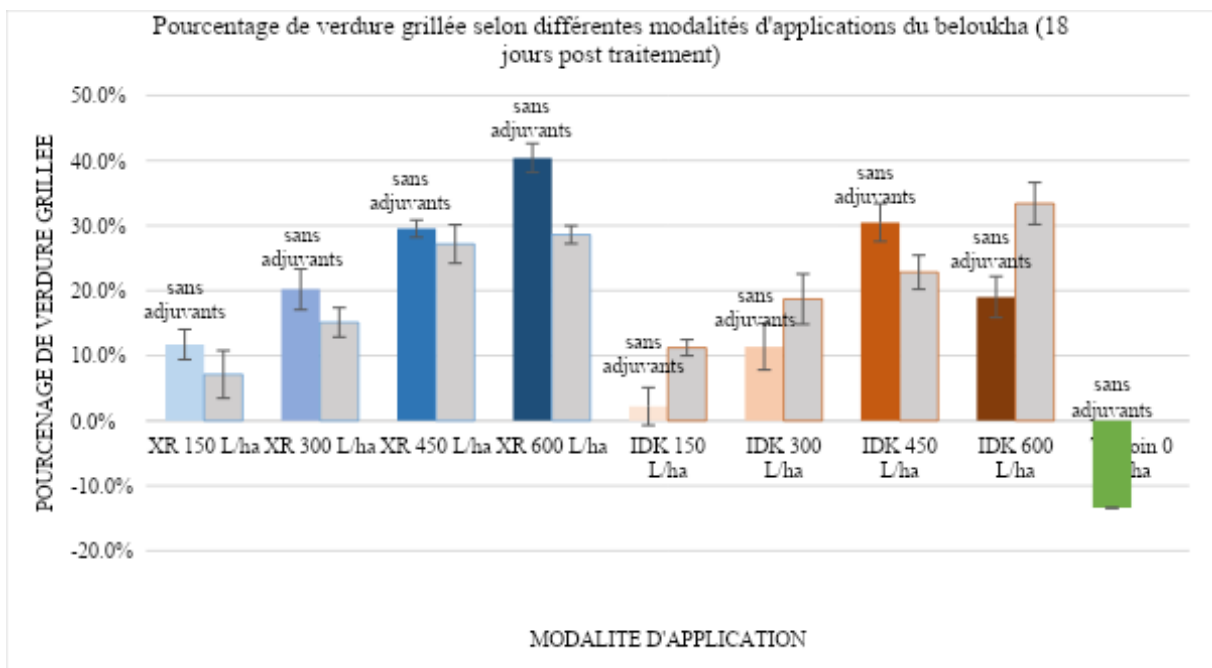


Figure 10 : Pourcentage de verdure grillée pour les différentes modalités. Les barres grises accolées aux autres barres de couleurs correspondent aux mêmes modalités. La seule différence est la présence d'adjuvant pour les barres grises. 18j post traitement

Les graphiques suivants présentent l'évolution dans le temps des taux moyens de verdure pour les différentes modalités.

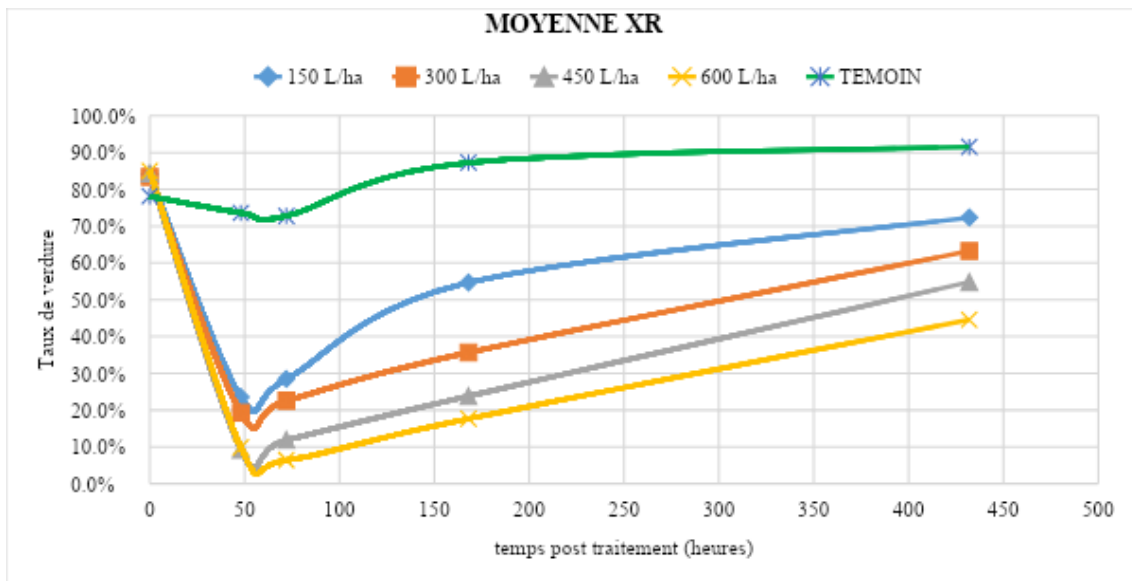


Figure 11. Pourcentage d'occupation du sol par de l'enherbement au fil du temps (buses XR)

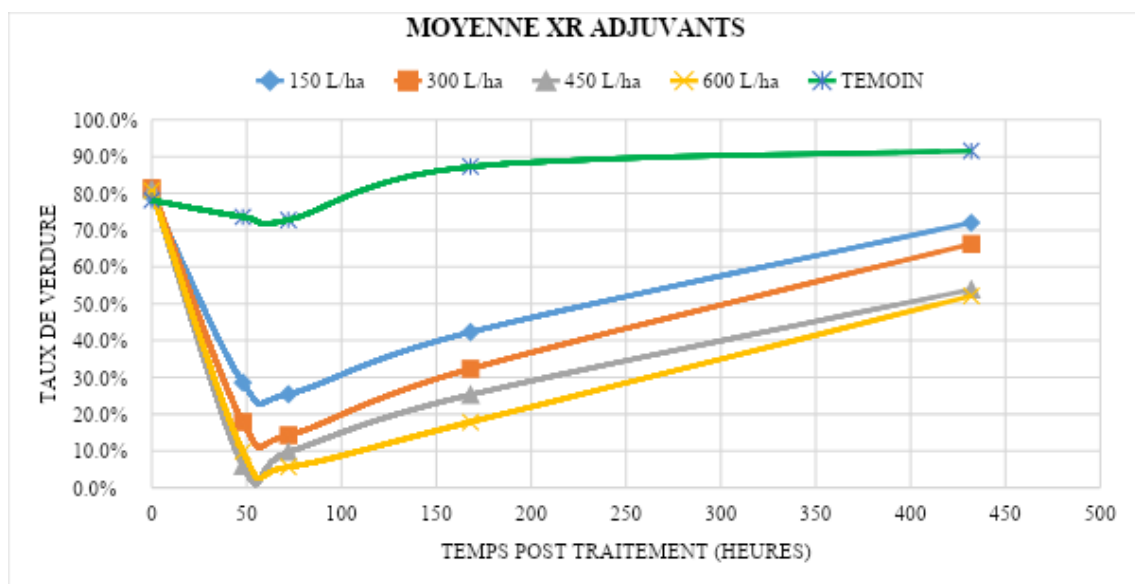


Figure 12. Pourcentage d'occupation du sol par de l'enherbement au fil du temps (buses XR + adjuvant)

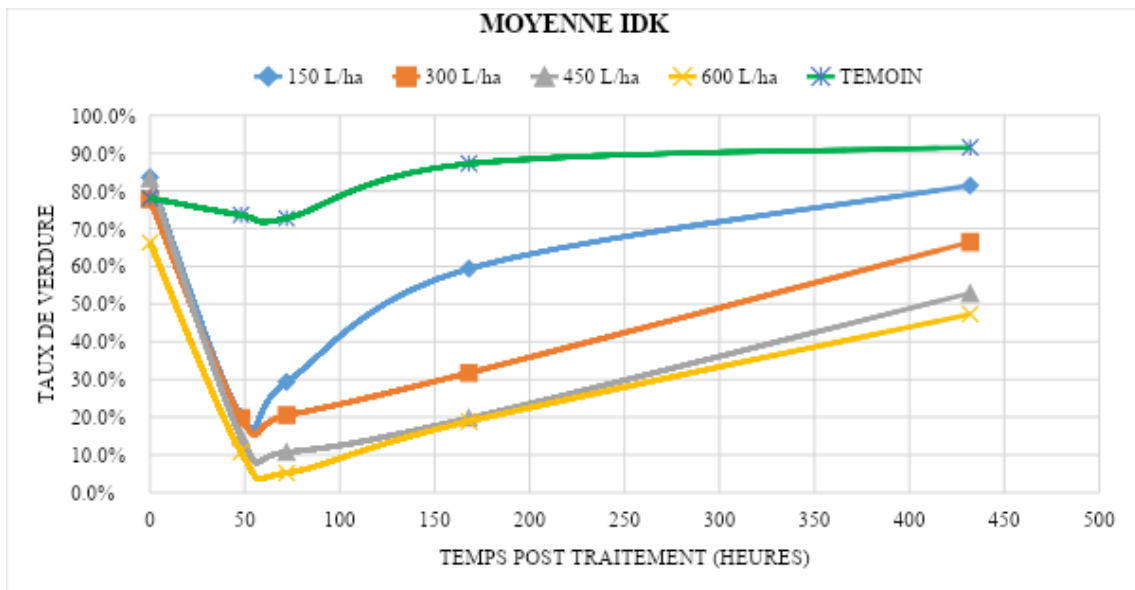


Figure 13. Pourcentage d'occupation du sol par de l'enherbement au fil du temps (buses IDK)

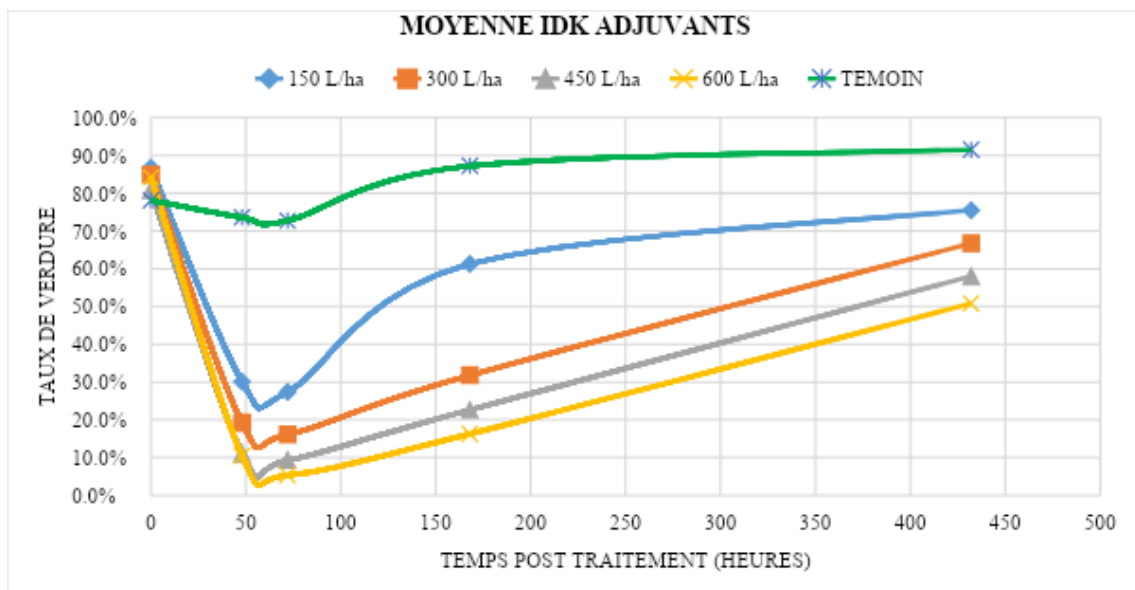


Figure 14. Pourcentage d'occupation du sol par de l'enherbement au fil du temps (buses IDK + adjuvant)

Enfin, les graphiques suivants regroupent différentes modalités afin de mettre en avant un effet :

Effet adjuvant :

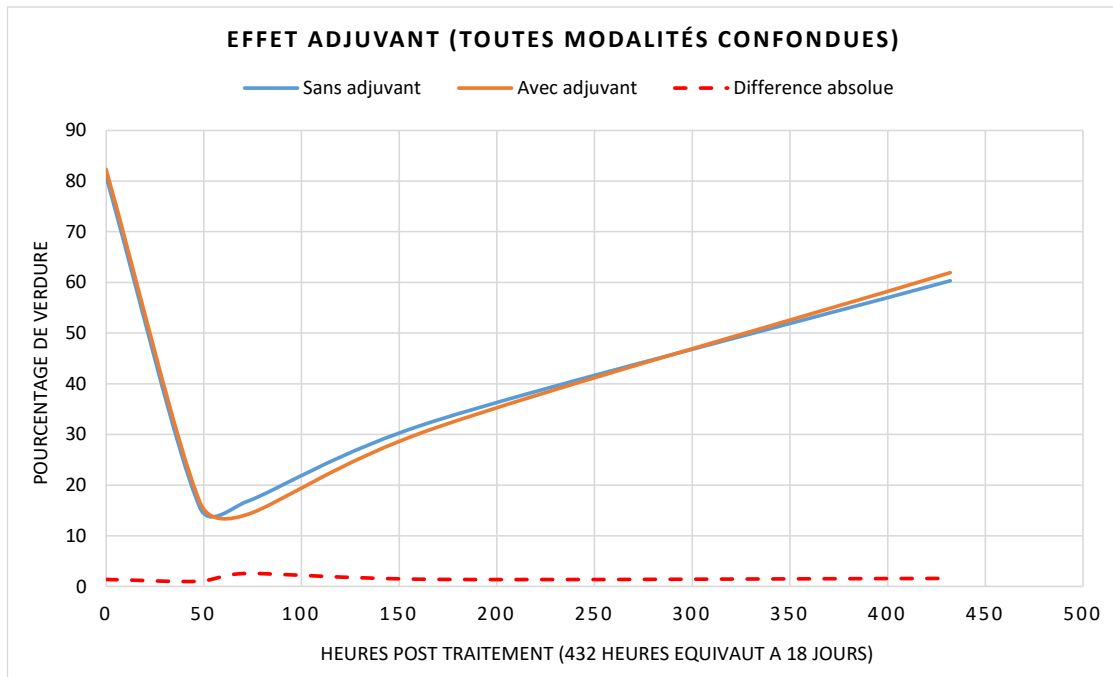


Figure 15. Pourcentage d'occupation du sol par de l'enherbement au fil du temps

L'adjonction d'adjuvants n'a pas permis d'améliorer l'efficacité des traitements.

Effet buse :

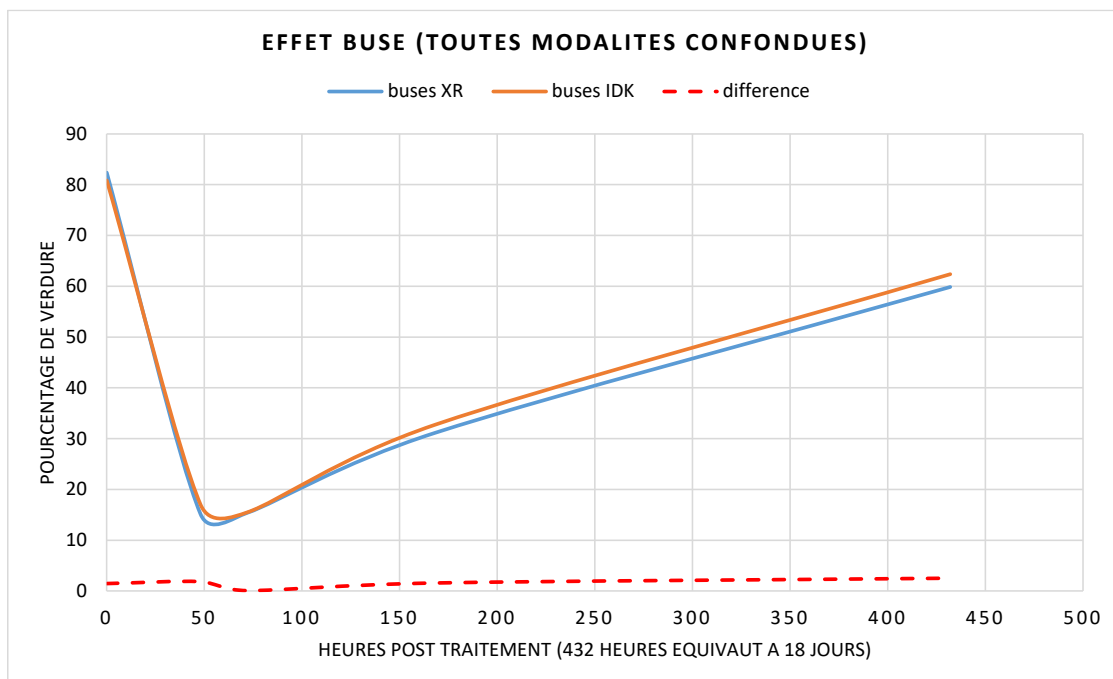


Figure 16. Pourcentage d'occupation du sol par de l'enherbement au fil du temps

Contrairement à ce qu'on aurait pu imaginer, la taille des gouttelettes n'a eu aucun impact sur l'efficacité des traitements.

### Effet dose :

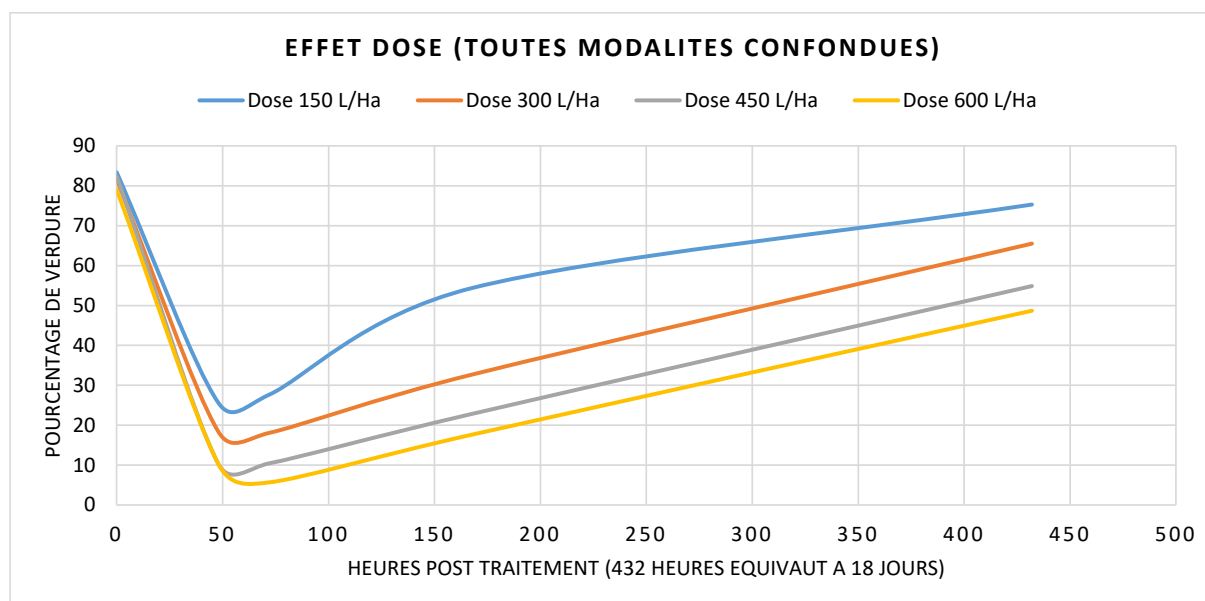


Figure 17. Pourcentage d'occupation du sol par de l'enherbement au fil du temps

L'effet du volume de bouillie (et donc de la dose de Beloukha puisque la concentration était de 10% sur toutes les modalités) appliqué par hectare traité est net. Plus la dose apportée est élevée et plus le pourcentage d'enherbement grillé est important. Toutefois, on note une repousse rapide des adventices après le traitement et l'augmentation de la dose ne permet « que » de décaler dans le temps le salissement des placettes.

## INTERPRETATION DES RESULTATS

L'étude des graphiques précédents permet de tirer des conclusions quant aux différents effets mesurés :

- L'acide pélargonique a pour effet de griller la cuticule des adventices, ce qui conduit à un dessèchement rapide des zones touchées. Cet effet atteint son maximum dans les 48 heures après application.
- Une fois les parties herbacées touchées mortes (taux de verdure compris entre 10 et 20%), le taux de végétation recommence à croître de manière linéaire. Cela sous-entend que seules les feuilles des adventices ont été grillées mais que les plantes elles même ont réussi à survivre. Cela s'explique aisément par le mode d'action (défanant) du Beloukha. Sur une végétation bien implantée, l'application d'un traitement à base de Beloukha peut être assimilé à une tonte.
- **La présence d'adjuvants dans la bouillie n'a pas permis d'améliorer l'efficacité des traitements.**
- **Aucune différence d'efficacité n'a pu être mise en évidence entre les deux types de buses (XR et IDK) malgré une production de gouttelettes radicalement différente.**
- En ce qui concerne l'effet dose, il apparaît clairement que **plus la dose appliquée est forte et plus l'efficacité est élevée**. On note cependant que l'efficacité obtenue n'est pas proportionnelle avec l'augmentation de la dose (un doublement de la dose ne permet pas de doubler l'efficacité).
- L'application de Beloukha sur un couvert développé se heurte à un **effet d'écran** : les feuilles situées en haut du couvert végétal protègent celles situées en dessous.

- Une seule application de Beloukha n'est pas suffisante pour entretenir durablement le sol (repousse rapide des adventices).
- Dans notre essai, il a fallu attendre 25 jours après le traitement à 600 L/ha pour retrouver un couvert végétal identique aux couverts du témoin.
- Outre l'efficacité limitée dans le temps, un autre facteur limitant concernant l'utilisation de l'acide pélargonique est son coût. En effet, pour obtenir un taux de grillures optimal, une pulvérisation de 450 L de bouillie par hectare semblait nécessaire (soit une dose de 45 L de Beloukha par ha traité, soit une dose de 4,5 L/ha de Beloukha par hectare de vigne désherbée à seulement 10%). Avec un coût (uniquement lié au produit) en plein de 749 €/ha et de 75 €/ha en localisé, **cette solution n'est pas compétitive d'un point de vue économique.**

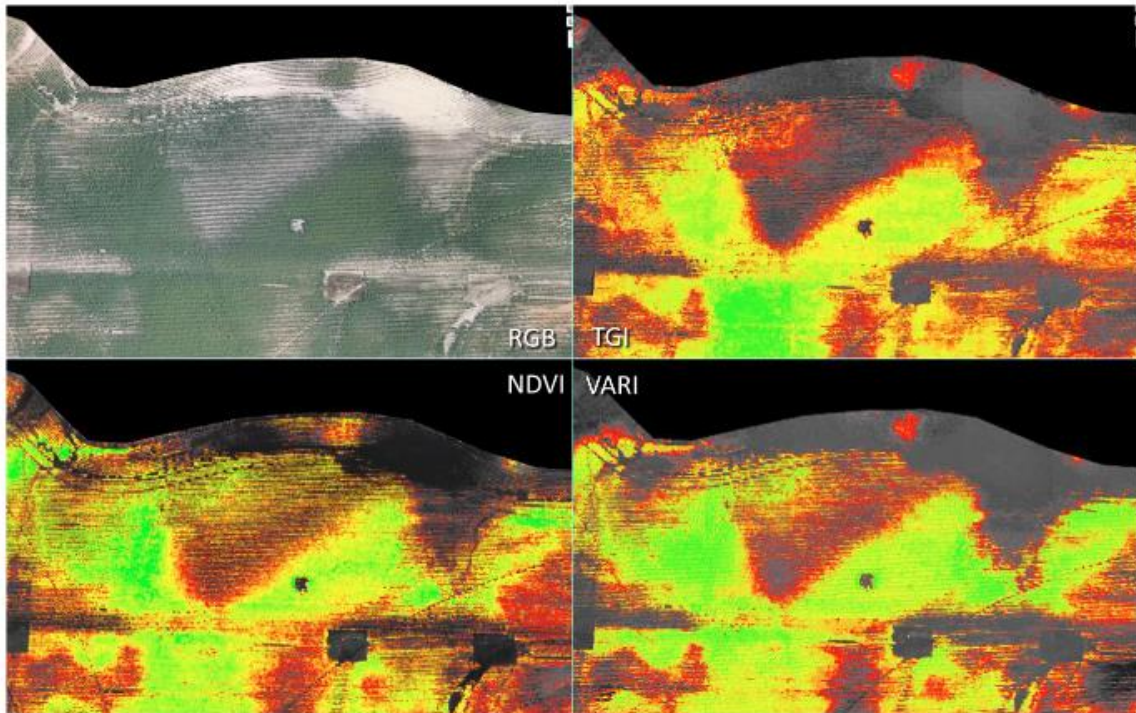
## CONCLUSION ET PERSPECTIVES DE TRAVAIL

Il n'a pas été possible d'accroître l'efficacité du Beloukha, ni par le biais des buses utilisées ni par celui de l'utilisation d'adjuvants à la bouillie de traitement. La seule augmentation de l'efficacité réalisée a été obtenue en augmentant la dose de produit...et donc son coût ! Le coût du produit étant déjà élevé, ce levier ne pourra donc être utilisé qu'avec parcimonie. Une diminution du coût du produit est indispensable afin que ce produit puisse trouver un marché conséquent en viticulture.

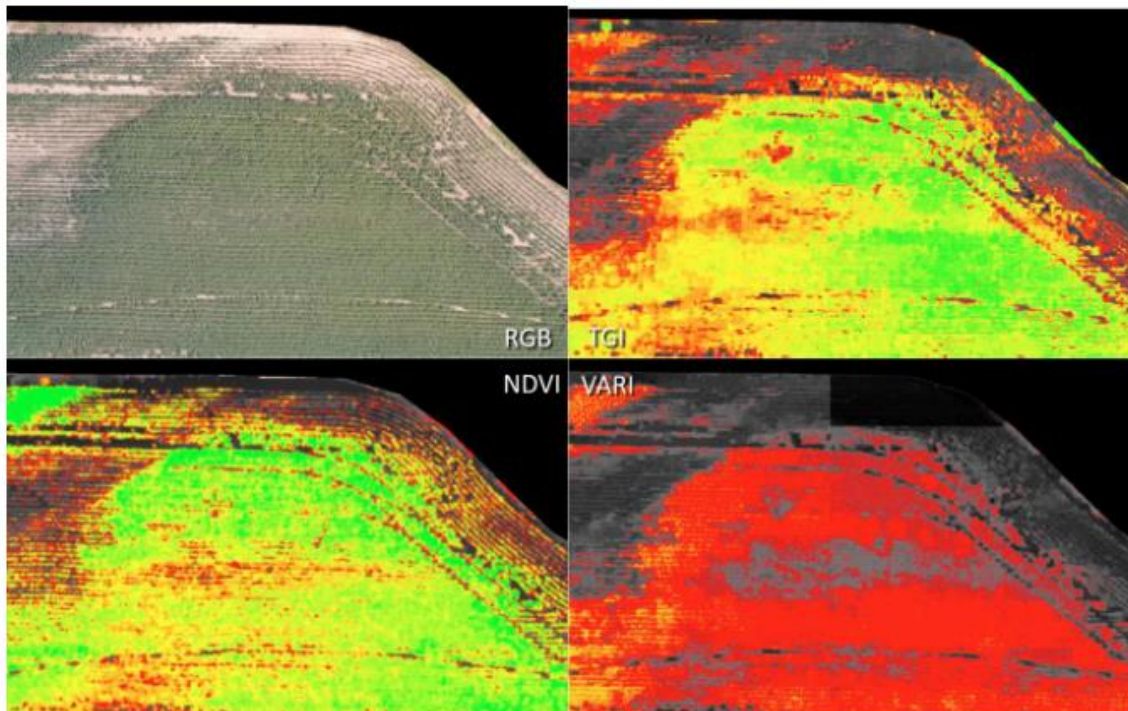
Le Beloukha est un défanant dont l'action sur des adventices développées pourrait être comparé à celui d'une tonte (dessèchement des organes verts touchés puis repousse plus ou moins rapide de la plante en fonction des conditions météorologiques). Son efficacité étant limitée sur des stades avancés de développement des adventices, son utilisation est à privilégier sur des stades plantules et il faut éviter au maximum des couverts denses qui empêchent d'atteindre l'ensemble des adventices.

Le Beloukha peut constituer un outil supplémentaire permettant de gérer l'entretien du sol situé sous le rang mais il présente deux freins importants : efficacité limitée et coût élevé que seul son statut de biocontrôle peut contrebalancer. Un entretien uniquement basé sur du Beloukha reste toutefois inenvisageable compte tenu des freins évoqués. La récente évolution concernant la restriction d'usage du glyphosate (450 g/ha/an) pourrait constituer une opportunité à son déploiement en imaginant des stratégies combinant plusieurs outils (glyphosate, Beloukha sol/pampres, travail du sol).

Annexe 1. Exemples d'analyses d'images obtenues avec le TGI



**Corn field A, region 1:** This corn field (above) had a lot of variability, which shows up clearly in RGB. Both TGI and VARI did a good job of reproducing the general features of the NDVI as well as representing the RGB trends.



**Corn Field A, region 2:** But in another section of the same field the VARI failed badly, indicating a poor area in the same place the NDVI shows a good region. The TGI and NDVI match up well.



## Annexe 2. Macro utilisée sous Image J pour analyser les images

```
function herbe(input, output, filename) {
    open(input + filename);
    run("RGB Stack");
    run("Duplicate...", "use");
    selectWindow(filename);
    run("Next Slice [>]");
    run("Duplicate...", "use");
    selectWindow(filename);
    run("Next Slice [>]");
    run("Duplicate...", "use");
    selectWindow("Red");
    run("Multiply...", "value=0.390");
    selectWindow("Blue");
    run("Multiply...", "value=0.61");
    imageCalculator("Subtract create", "Green", "Red");
    selectWindow("Result of Green");
    imageCalculator("Subtract create", "Result of Green", "Blue");
    selectWindow("Result of Result of Green");
    saveAs("jpeg", output + filename);
    run("Close");
    run("Close");
    run("Close");
    run("Close");
    run("Close");
    run("Close");
}
}
```

```
function mesure(output, binaire, filename){
    open(output + filename);
    setAutoThreshold("Default dark");
    setThreshold(21, 255);
    run("Threshold...");
    setOption("BlackBackground", true);
    run("Convert to Mask");
    run("Create Selection");
    saveAs("jpeg", binaire + filename);
    //mesure du blanc (végétation)
    run("Measure");
    run("Make Inverse");
    //mesure des zones grillées
    run("Measure");
}
}
```

```
input = "/Users/.../mesures/input/";
output = "/Users/.../mesures/outputtgi/";
binaire = "/Users/.../mesures/binairtgi/";

setBatchMode(true);

list = getFileList(input);
for (i = 0; i < list.length; i++){
    herbe(input, output, list[i]);
    mesure(output, binaire, list[i]);
}
```