

Champ expérimental de *Polygonum tinctorium* à Vaugines. Photo : Philippe Chiffolleau.

Production expérimentale d'Indigo de *Polygonum tinctorium* Aiton sur le Parc du Luberon (Polygonacées)

Partie 2 : étude agronomique de *Polygonum tinctorium*
pour la production d'indigo

Philippe CHIFFOLLEAU* & Lionel GUILON**

RÉSUMÉ

L'article précédent paru dans le Courrier scientifique n° 12 traitait de l'amélioration des connaissances scientifiques sur les interactions moléculaires amenant à la formation de l'indigotine chez *Polygonum tinctorium*. Dans le prolongement de ces travaux et en prévision de la production d'une biomasse de qualité, il importait de définir un mode de culture optimal. Nous savons que celui-ci influence la production de biomasse tant en quantité de feuilles mais également et surtout en quantité de précurseurs à partir desquels est obtenue l'indigotine. Cette deuxième partie présente les travaux agronomiques conduits sur 20 000 plants de *Polygonum tinctorium* installés sur l'exploitation agricole de Michel Issouard à Vaugines.

Mots-clés: *Polygonum tinctorium*; indigo; itinéraire agronomique.

TITLE

*Experimental production of indigo Polygonum tinctorium Aiton on the Luberon Park
Part 2: Study of agronomic Polygonum tinctorium for producing indigo*

ABSTRACT

The previous article in the Courrier scientifique No. 12 dealt with the improvement of scientific knowledge about molecular interactions leading to the formation of indigo from Polygonum tinctorium. In continuation of this work and in preparation for the production of quality biomass, it was important to define an optimum method of cultivation. We know that this influences biomass production both in quantity of sheets but also and especially in quantity of precursor from which is derived indigo. The second part presents the agronomic work carried out on 20,000 plants of Polygonum tinctorium installed on the farm of Michel Issouard in Vaugines.

Keywords: *Polygonum tinctorium*; indigo; agricultural route.

* École centrale de Paris 92, Chargé de mission agro-ressources Parc du Luberon - 0490044213 - 0674954559

** Éleve ingénieur École supérieure d'agronomie de Montpellier.

1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

a. Mise en place des parcelles expérimentales

Dans l'optique de la création d'une filière indigo dans le Parc naturel régional du Luberon, il est primordial de maîtriser certains paramètres tels que la vitesse de croissance des plantes, l'influence des températures, les besoins en eau et la fertilisation.

La première étape a naturellement été de mettre en place les parcelles expérimentales de *Polygonum tinctorium*. Celle-ci a été confiée à Michel Issouard, agriculteur maraîcher réputé pour son professionnalisme et sa maîtrise de l'agriculture biologique. Il a préparé trois parcelles rectangulaires globalement planes d'une superficie unitaire de 2200 m² en moyenne, soit un total de 0,65 ha de culture expérimentale de *P. tinctorium*. Un échantillon de sol a été prélevé avant préparation du terrain et analysé selon les méthodes pédologiques classiques : d'après le diagramme de texture du sol GEPPA¹ (Baize & Labiol, 1995) celui-ci est limoneux-sableux argileux. Les trois parcelles expérimentales étaient auparavant cultivées en vignes, choux et tournesols. Des cultures de tournesol, de vigne, de courge ainsi que des haies de noyers et de figuiers constituent l'environnement direct des parcelles.

Étude de la fertilisation

Comme pour toute culture, l'engrais aide à assurer de bons rendements culturels. La culture expérimentale de *P. tinctorium* a été fertilisée suivant les pratiques d'une agriculture biologique (certifiée par ECOCERT). Le tourteau de ricin est un amendement de premier choix que Michel Issouard a l'habitude d'employer. L'avantage de cet amendement azoté (5 % d'azote organique) est qu'un seul apport, effectué pendant la préparation des parcelles, suffit pour tout un cycle d'une culture annuelle. La dose préconisée par Michel Issouard est de 1 t/ha.

L'expérimentation agronomique passe par la compréhension des besoins en azote. Pour la production d'indigo, les fleurs et les fruits de *P. tinctorium* ne présentent que très peu d'intérêt par rapport aux feuilles. C'est pour cela que l'étude sera focalisée sur l'effet de la fertilisation azotée sur le développement des feuilles. Pour ce faire un gradient de fertilisation azoté à base de tourteau de ricin a été créé. On retrouve ainsi des modalités de culture :

- sans apport, donc à 0 t/ha de tourteau de ricin,
- avec un apport conventionnel de 1 t/ha de tourteau de ricin, soit 50 kg/ha d'azote organique,
- avec deux fois l'apport conventionnel, soit 2 t/ha de tourteau de ricin, ce qui correspond à 100 kg/ha d'azote organique.

Suivi de l'irrigation

L'irrigation est basée sur les conseils de Michel Garcia, les résultats de l'étude de 2012 (Brière & Chiffolleau, 2012) et l'expérience de Michel Issouard. L'eau est directement prélevée dans la nappe phréatique située à 70 m de profondeur. Deux méthodes d'irrigation ont été expérimentées : l'aspersion et le goutte-à-goutte (GAG). L'irrigation par GAG (un goutteur tous les 30 cm avec un débit de 1,5 l/h) a été associée à un paillage plastique noir alors que les 28 asperseurs (débit moyen de 0,8 m³/h) nécessitent de garder le sol nu. Par ailleurs, le contrôle des apports d'eau a pu être effectué grâce à :

- quatre tensiomètres installés à 15 cm de profondeur
- un compteur d'eau placé sur l'un des 28 asperseurs.

L'origine des semences

Les semences qui ont servi à la culture de *P. tinctorium* proviennent des graines produites par la culture expérimentale de 2012. C'est en 1999 que Michel Garcia ramena directement du Japon les semences de trois variétés différentes de Persicaire à indigo. Après les avoir cultivées et expérimentées lui-même sur une petite parcelle dans la plaine de la Durance, il a sélectionné la variété donnant les meilleurs rendements en indigo par rapport au climat et au sol calcaire de la région. C'est cette variété qui est aujourd'hui distribuée par l'association Couleur Garance et qui a naturellement servi aux cultures expérimentales de *P. tinctorium* de 2012 et de 2013.

Les plants

La pépinière SCEA des 2 platanes (Mallemort – Bouches-du-Rhône) a été sollicitée pour préparer les 20 000 plants caractérisés par la taille des mottes dans lesquelles ils sont repiqués : 5 000 en motte de 4 x 4 cm et 15 000 en motte de 6 x 6 cm. Une grande hétérogénéité existe entre les plants à leur livraison. Cela s'explique par les dates de repiquage : les plants ont été semés le 18 février dans la chambre de germination de la pépinière (la température du sol de la chambre est maintenue à 23 °C). Ils ont d'abord été repiqués dans des mottes

1. Groupe d'études des problèmes de pédologie appliquée.



Fig 1 : photographie des plants livrés par la pépinière.

De gauche à droite : trois plants sur motte de 6 x 6 cm (le premier ayant fleuri précocement) et un plant sur motte de 4 x 4 cm. Photo : Philippe Chiffolleau.

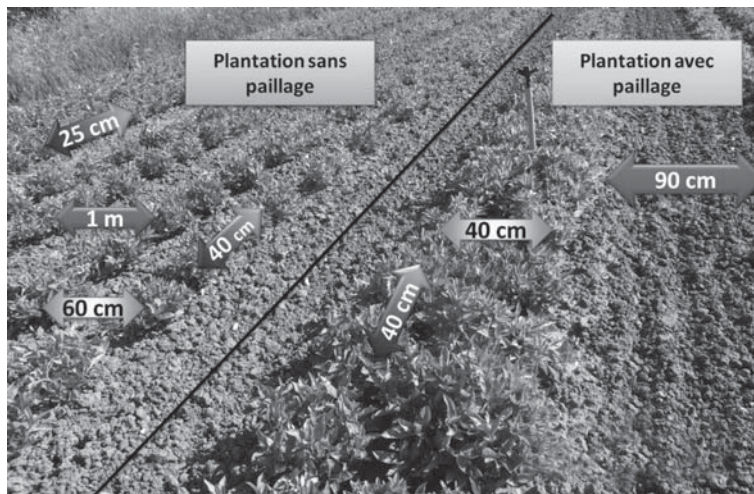


Fig. 2 : schéma des distances sur le rang et inter-rang, principales et secondaires.

Photo : Philippe Chiffolleau.

de 6 x 6 cm entre le 22 et le 27 février au fur et à mesure de l'apparition des plantules. Les dernières plantules ont été repiquées vers le 15 mars dans des mottes de 6 x 6 cm et de 4 x 4 cm. Les plants ont été stockés dans une serre dont le sol est maintenu à une température de 20 °C. Les premiers plants ont eu tendance à fleurir prématurément, très certainement à cause des basses températures du printemps. Lors de la plantation, les plants issus de mottes de tailles différentes ont été répartis sur des zones distinctes afin de les localiser facilement pour la suite de l'étude.

La densité de plantation

Le paillage plastique utilisé est déjà doté d'emplacements espacés de 40 cm pour les plants et a donc une densité propre de 30 000 plantes/ha. Deux autres densités de plantation ont été testées : 20 000 plantes/ha (sans paillage, espacées de 40 cm sur le rang) et 60 000 plantes/ha (sans paillage, 25 cm sur le rang). Le schéma des densités de plantation est présenté sur la figure 2.

Le climat sur la parcelle

La température, les précipitations et l'ensoleillement sont des données toutes aussi importantes que l'irrigation pour comprendre le cycle de développement de *P. tinctorium*. Pour être le plus proche possible de la réalité du terrain, nous avons disposé une station météorologique automatique sur une des parcelles. Dans le cas où la station était momentanément hors service, nous avons eu recours aux bulletins météorologiques des villes de Vaugines et d'Aix-en-Provence.

Bilan

Finalement nous avons étudié onze modalités différentes en combinant, les types de plants, la densité, l'irrigation et la fertilisation, réparties sur l'ensemble des parcelles (voir Tableau 1). Chacune des onze modalités a constitué l'objet de cette étude agronomique dont le but est de définir un itinéraire de culture simple, rentable, efficace et exploitable pour une filière indigo durable en Provence.

b. Méthodologie

Pour suivre cette culture et plus précisément la croissance des plantes, trois types de mesures ont été effectués selon le protocole mis en place au cours de la culture expérimentale de 2012 :

- **Croissance verticale de la plante:** mesure de la distance entre le sol et la feuille la plus haute de la plante tous les 10 jours à l'aide d'un mètre ruban sur 4 plantes choisies aléatoirement sur la parcelle en début d'expérimentation.

Irrigation	Densité (plantes/ha)	Taille des mottes	Fertilisation (t/ha de tourteau de ricin)	Référence des modalités
GAG	30 000	6x6 cm	0	G60
GAG	30 000	6x6 cm	1	G61
GAG	30 000	6x6 cm	2	G62
GAG	30 000	4x4 cm	0	G40
GAG	30 000	4x4 cm	1	G41
GAG	30 000	4x4 cm	2	G42
Aspersion	20 000	6x6 cm	0	A60
Aspersion	20 000	6x6 cm	1	A61
Aspersion	20 000	4x4 cm	0	A40
Aspersion	20 000	4x4 cm	1	A41
Aspersion	60 000	6x6 cm	1	661

Tableau 1 : modalités de cultures étudiées sur les parcelles expérimentales.

- **Croissance horizontale de la plante:** mesure du diamètre du cercle dans lequel la totalité du feuillage de la plante est contenu, tous les 10 jours à l'aide d'un mètre ruban sur les 4 mêmes plantes.

- **Évolution de la biomasse sèche:** c'est une mesure qui a été ajoutée cette année. L'opération à consister à prélever 4 plants tous les 10 jours (coupés au collet) et à les peser une fois secs à l'aide d'une balance de précision de l'ordre du centigramme. Des mesures de masses fraîches ont été réalisées suivant le même protocole.

À partir de ces données relevées pour chacune des modalités, il était possible de mener une étude comparative du développement de *Polygonum tinctorium* en fonction de la taille des mottes, des densités de plantation, du mode d'irrigation et de fertilisation.

2. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

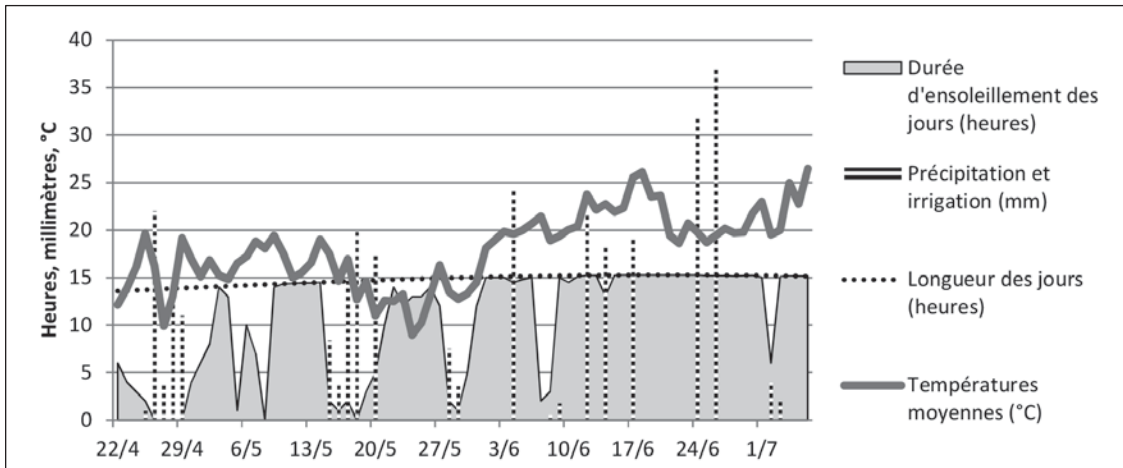
Il s'agit ici de présenter et de discuter les résultats des différentes données relatives aux croissances verticales et horizontales, et à l'évolution de la biomasse sèche de *Polygonum tinctorium*.

a. Le climat sur la parcelle pendant la culture

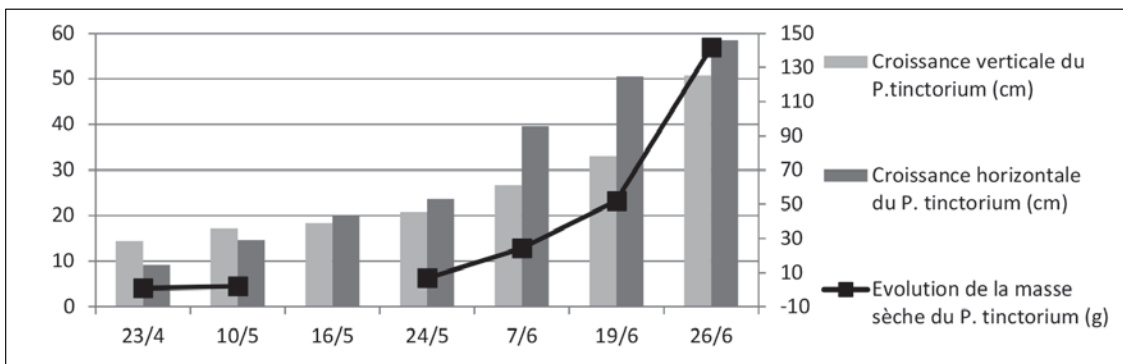
On peut voir à travers ce graphe que le mois de mai a été marqué par de très basses températures, un soleil rare et des averses fréquentes. À la fin de ce mois le ciel est devenu de moins en moins couvert et les températures sont remontées progressivement. Le sol ayant été gorgé d'eau, ce n'est qu'au cours du mois de juin que l'agriculteur commença à arroser régulièrement la culture de *Polygonum tinctorium*. En effet, le mois de juin n'a pas présenté d'anomalie particulière et le soleil fut omniprésent.



Fig. 3 : séchage à l'air libre des prélèvements de *P. tinctorium*. Photo : Philippe Chiffolleau.



Graphique 1 : évolution des données climatiques² et de l'irrigation de la parcelle entre le 23 avril et le 6 juillet 2013.



Graphique 2 : évolution des croissances verticales, horizontales et de la biomasse sèche de *P. tinctorium* de la plantation à la première récolte.

2. La durée d'ensoleillement (en heure) est une approximation faite par l'observation quotidienne des heures d'ensoleillement dans le Luberon. L'investissement dans un héliographe (qui serait un luxe de par son coût et surtout de sa précision à la minute) n'était pas indispensable pour étudier ce paramètre. La longueur du jour a été calculée à partir des coordonnées géographiques de la parcelle et de la position de la Terre dans sa révolution autour du Soleil.

b. Étude du développement de *P. tinctorium*

À partir des mesures de hauteur, de diamètre et de masse sèche effectuées entre le 23 avril et le 26 juin sur chacune des modalités, il est possible de construire les histogrammes de croissances horizontale et verticale ainsi que la courbe d'évolution de la masse sèche des plantes (Graphique 2). À première vue, on distingue deux phases dans la croissance de *P. tinctorium*. La première est celle d'une croissance lente au cours du mois de mai correspondant prioritairement au développement du système racinaire, la deuxième celle d'une croissance rapide, voire exponentielle durant le mois de juin. On ne peut conclure ici qu'il s'agit du mode de développement normal de *P. tinctorium* car ces deux phases concordent respectivement avec le temps froid et humide du mois de mai et chaud et ensoleillé de juin. Cependant, l'étude menée au cours de l'année 2012 montre que le *P. tinctorium* se développe de façon régulière, caractérisé par des courbes linéaires, entre la plantation et la première récolte (Brière & Chiffolleau, 2012).

On peut aussi étudier la dynamique de développement de *Polygonum tinctorium* à partir de ce même graphique. Les plants sortis de la pépinière (le 23 avril) sont nettement plus hauts que larges. Cela n'est pas surprenant car dès leur germination les plantes sont à la recherche de la lumière et croissent en conséquence. La croissance verticale a donc prédominé sur une croissance horizontale. Après la plantation en plein champ, les courtes racines explorent les couches superficielles du sol à la recherche d'eau et de nutriments. *P. tinctorium* a la particularité de pouvoir s'étaler au sol pour développer à chaque nœud de nouvelles racines et de nouvelles tiges (Morren, 1839). On remarque d'ailleurs que les plants sur paillage sont vainement à la recherche de ce sol pour y implanter leurs racines. Leur alimentation est donc réduite à quelques racines ce qui inhibe le développement des tiges ou, dans le meilleur des cas, celles-ci deviennent épaisses et fragiles. Ce phénomène explique la prédominance de la croissance horizontale sur la croissance verticale, fait également remarquable en 2012 (Brière & Chiffolleau, 2012). Ce n'est que lorsque les plantes d'un même rang commencent à entremêler leurs tiges que la croissance verticale s'accélère. La croissance horizontale continue dans les endroits disponibles, c'est-à-dire dans l'inter-rang. La croissance verticale de *P. tinctorium* s'accompagne d'un épaississement de la base des tiges et de l'apparition de jeunes tiges au niveau des entre-nœuds, parties de la plante que l'on cherche à récolter pour leur forte concentration en indican (Minami *et al.*, 2000).

Enfin, les résultats des mesures sur le terrain et des mesures de 2012, nous permettent de fixer des critères auxquels devra répondre le *P. tinctorium* avant de récolter la biomasse (les sommités) d'où sera extrait l'indigo :

- la hauteur et le diamètre moyen doivent être supérieurs à 50 cm/plante
- la masse sèche moyenne doit être supérieure à 120 g/plante

c. Études comparatives des modalités de culture de *P. tinctorium*

Afin d'alléger le contenu des graphiques qui suivent, nous étudierons les croissances verticales (hauteur H entre le sol et la feuille la plus haute) et horizontale (diamètre D du cercle dans lequel s'inscrit la totalité du feuillage) de *P. tinctorium* à travers une croissance globale caractérisée par un volume. Un cylindre de hauteur H et de rayon D/2 est le meilleur solide pouvant symboliser le volume occupé par la plante dans l'espace. Ce volume est donné par la formule :

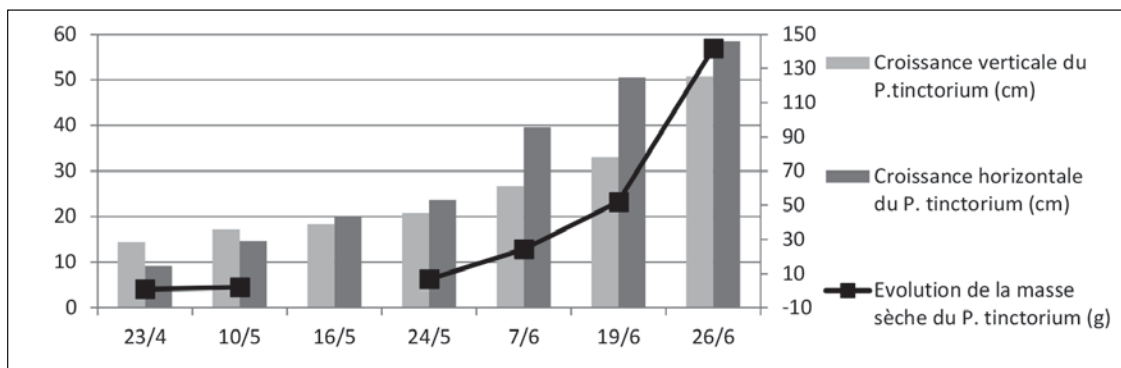
$$V = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times H$$

De plus, au vu des conditions climatiques médiocres des quatre premières semaines et du faible taux de croissance durant cette période (non représentatif d'un développement normal), l'étude de la croissance des plants en fonction de la taille des mottes, des densités de plantation, du mode d'irrigation et de fertilisation a été faite sur les quatre dernières semaines précédant la première récolte.

*Étude comparative du développement de *P. tinctorium* en fonction de la taille des mottes*

Le graphique 3 représente l'évolution du développement de *P. tinctorium* en fonction de la taille des mottes dans lesquelles sont livrés les plants de la pépinière. L'importance de ce paramètre est principalement d'ordre économique car les plants repiqués dans des mottes de 6 x 6 cm coûtent deux fois plus cher que ceux repiqués dans des mottes de 4 x 4 cm (respectivement 0,46 € et 0,23 € TTC par plant). Cette étude est basée sur les modalités G60, G61, G62, et A60 A61 pour les mottes de 6 x 6 cm et les modalités G40, G41, G42, A40 et A41 pour les mottes de 4 x 4 cm.

Si durant les quatre premières semaines qui ont suivi la plantation on observait une nette différence entre les plantes



Graphique 3 : évolution de *P. tinctorium* en fonction de la taille initiale des mottes.

selon leurs mottes, celle-ci s'est assez vite estompée durant le mois de juin. Bien que les plants repiqués sur mottes de 6 x 6 cm restent plus volumineux et plus denses que ceux sur mottes de 4 x 4 cm, cet écart ne dépasse pas les 10 % au moment de la récolte. Il est donc préférable d'acheter les plants sur mottes de 4 x 4 cm car, à rendement équivalent en biomasse, on économise 50 % du budget d'achat des plants.

Parallèlement une étude logistique liée à la réalité du terrain a été menée et confirme l'intérêt des mottes de 4 x 4 cm. En effet quelle que soit la taille des mottes, les plants sont entreposés dans le même type de cagette par la pépinière. Il y a donc d'avantage de plants par cagette lorsque l'on traite des mottes de 4 x 4 cm (165 contre 77 pour les mottes de 6 x 6 cm). Tout ceci facilite et réduit les coûts de transport entre la pépinière et les parcelles. À la plantation, qui fut manuelle pour cette parcelle expérimentale, on note aussi une plus grande maniabilité des mottes de 4 x 4 cm grâce à la légèreté des plants, à leurs racines plus souples et au nombre de plants par cagette limitant ainsi les allées et venues sur la parcelle.

On conclura cette étude sur le fait qu'une plantation mécanisée (planteuse et motte en bouchon), indispensable en cas de réel développement de la filière, ne serait possible qu'avec les plants sur mottes de 4 x 4 cm. Cependant, les techniques de semis direct et de multiplication par bouturage pourraient être intéressantes à étudier. Ces méthodes de multiplication végétative de *P. tinctorium* peuvent s'avérer être nettement plus simples et plus économiques que la préparation des plants en pépinière. On remarquera enfin que la méthode de plantation de *P. tinctorium* selon la tradition japonaise peut aussi s'avérer très intéressante pour sa simplicité et sa rapidité de mise en œuvre (Ricketts, 2006). Appelée Sukumo, cette technique consiste à réaliser des plants à racines nues. Les graines sont semées sur une planche préalablement fertilisée. Lorsque les plantules ont atteint une dizaine de centimètres,

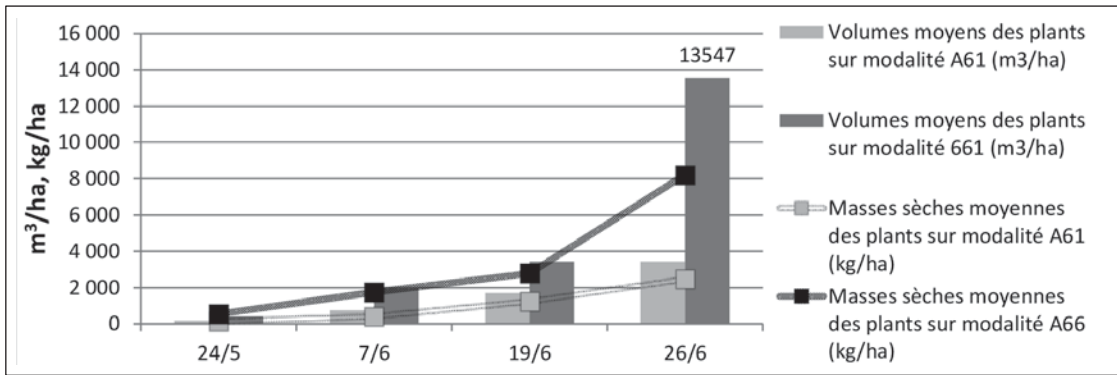
elles sont transplantées sur la parcelle de culture. Cette technique permet de réaliser une économie importante en terme de coût de production des plants par rapport à la technique du godet (ou motte).



Fig. 4 : plantules de *Polygonum* avant transplantation.
Photos extraites de Ricketts (2006).



Fig. 5 : transplation des plantules à racines nues sur la parcelle de culture.



Graphique 4 : évolution des cultures de *P. tinctorium* en fonction des densités de plantation.

Étude comparative de la croissance en fonction des densités de plantation

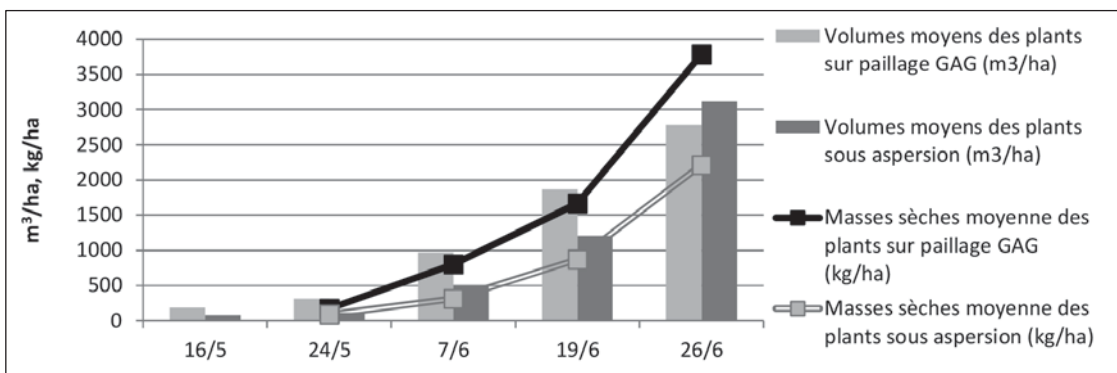
L'importance de la densité de plantation est aussi principalement d'ordre économique. En effet, il faut pouvoir estimer le meilleur rendement selon le nombre de plants et la biomasse correspondante à l'hectare. Cette étude est basée sur les moyennes de hauteurs, de largeurs et de masse sèche des modalités A61 (30 000 plants/ha) et 661 (60 000 plants/ha), qui ne diffèrent que par leurs densités de plantation.

Si durant les quatre premières semaines qui ont suivi la plantation on n'observait qu'une petite différence entre les plants, on note le grand écart de la modalité 661 au moment de la récolte avec un volume de 13 558 m³/ha contre 3 436 m³/ha pour la modalité A61. L'analyse de cet histogramme démontre que les prélèvements du 26 juin sont spectaculaires mais pas uniques. En effet, dès le 24 mai la modalité 661 semble démontrer une précocité d'environ 8 jours par rapport à la modalité A61.

Dans le paragraphe précédent concernant le développement de *P. tinctorium* nous avons remarqué que lorsque la croissance horizontale se fige avec la rencontre des plantes voisines alors la croissance verticale s'accroît (annonçant ainsi le moment de la récolte). La densification de la plantation est sans aucun doute à l'origine de la compétition précoce pour l'espace entre les plantes de la modalité 661 et pourrait conduire à effectuer plus de récoltes dans une même saison. Cela mérite une discussion par rapport aux capacités de traitement de l'unité d'extraction d'indigo.

Étude comparative de la croissance en fonction de la couverture du sol

La présence ou l'absence de couverture du sol des cultures entraîne des modes de gestion de l'irrigation différents: GAG pour une couverture du sol avec un paillage plastique noir, et aspersion en l'absence de paillage. Ce paramètre d'étude est tout aussi important que les autres sur le plan économique,



Graphique 5 : évolution des cultures de *P. tinctorium* en fonction de la couverture du sol.

car l'installation du GAG et du paillage représente un coût plus élevé que celle des asperseurs. Cette étude est basée sur les modalités G60, G61, G40, G41 et A60, A61, A40, A41. N'ayant pas de véritables données sur l'irrigation par GAG, on supposera qu'elle a été faite de façon uniforme pour les deux modalités. La présence du paillage implique aussi une densité de plantation de 30 000 plantes/ha tandis que le reste de la parcelle a une densité de 20 000 plantes/ha (sauf modalité 661).

Durant les quatre premières semaines qui ont suivi la plantation on note une croissance plus rapide du volume moyen des plants irrigués par GAG que ceux irrigués par aspersion, du fait du paillage qui limite l'évaporation de l'eau du sol. Cette différence s'estompe rapidement au mois de juin. L'évolution de la biomasse sèche des deux modalités semble à première vue diverger, mais il s'agit uniquement de la conséquence d'une différence de densité de plantation : la matière

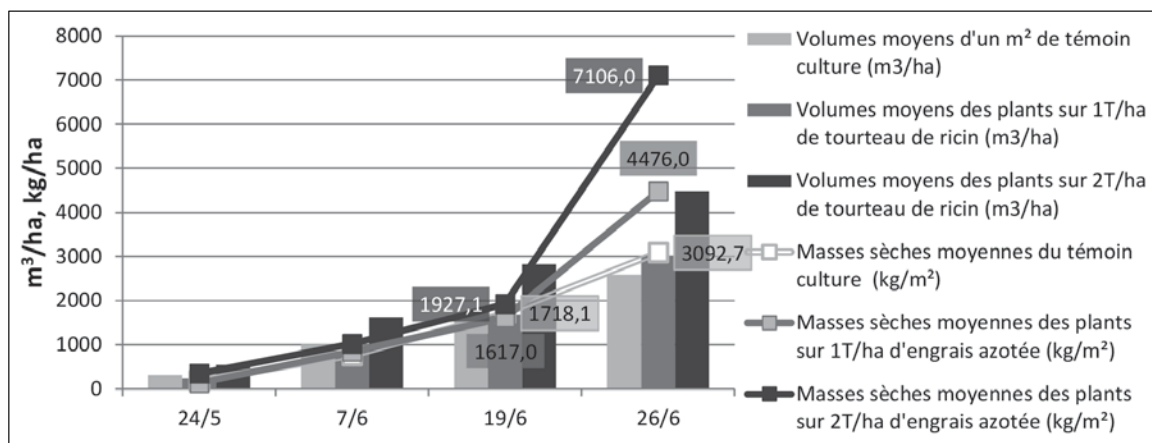
sèche moyenne produite par plant est sensiblement la même sur les deux modalités. Cependant, la croissance plus rapide des plants irrigués par aspersion peut s'expliquer par le développement de jeunes tiges à la suite de l'inhibition de la croissance horizontale. Les plantes irriguées par GAG, en revanche, ne peuvent développer des racines secondaires dans le sol avec la présence du paillage plastique.

En plus du coût supplémentaire que représente l'installation du paillage à la plantation, sans parler de l'impact environnemental de la production de ce plastique, le paillage demande d'avantage de travail à la plantation. Pour ce qui est de l'aspersion, Michel Issouard utilise habituellement une méthode de plantation simple, rapide et efficace qui consiste à déposer les plants au sol dans des sillons préalablement creusés par un passage au tracteur. Les sillons sont refermés par des griffes et tassées par un rouleau, le tout en un seul passage de tracteur (Figure 6).



Fig. 6 : implantation mécanisée de *P. tinctorium* par passage d'un cultivateur et d'un rouleau. Photo : Philippe Chiffolleau.

En conclusion, on déconseillera de cultiver *P. tinctorium* sur paillage plastique, mais plutôt d'arroser, abondamment et régulièrement la culture comme conseillé par Michel GARCIA (2012).



Graphique 6 : évolution des cultures de *P. tinctorium* en fonction de la fertilisation azotée.

Étude comparative du développement des plants en fonction de la fertilisation azotée

Ce graphe représente l'évolution du développement des cultures en fonction de la quantité de tourteau de ricin épanché. Ce paramètre d'étude est tout aussi important que les autres sur le plan économique, car l'utilisation des engrais représente un coût non négligeable (0,53 €/kg)³ mais nécessaire pour une bonne production agricole. Cette étude est basée sur les modalités G60, G61, G42, G4 et G40, G41, G42.

On observe très clairement sur ce graphique les écarts de production entre la culture témoin et les cultures fertilisées à 50 et à 100 kg d'azote/ha. Cette différence s'observe dès les premiers jours qui suivent la plantation. Comme on a pu le constater sur les graphiques 3, 4 et 5, la croissance exponentielle des masses sèches (Graphique 6) qui a eu lieu entre le 19 et le 26 juin est due au développement de tiges formées par l'inhibition de la croissance horizontale. Le graphique 6 révèle une croissance moyenne de 5 t/ha de biomasse sèche en une semaine pour les modalités G62 et G42 contre 2,8 t/ha pour les modalités G61 et G41 et 1,3 t/ha pour le témoin.

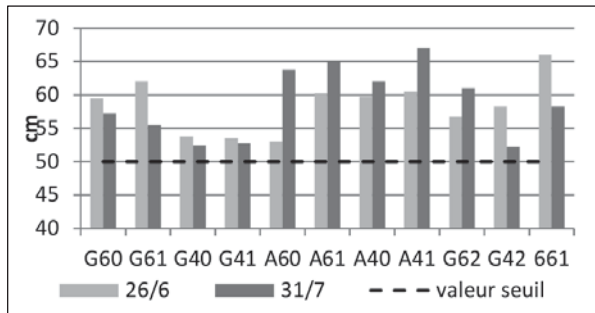
En conclusion, doubler l'apport de matière fertilisante contribue donc à doubler la quantité de biomasse par récolte. De plus, on observe sur l'histogramme des volumes,

un phénomène de précocité des modalités où il y a eu une fertilisation azotée de 100 kg/ha, ce qui pourrait conduire à davantage de récolte dans une saison. La rentabilité d'une telle production doit se discuter avec les capacités de traitement de biomasse de l'unité d'extraction. De plus, l'azote constitue 10 % de la masse atomique de l'indigotine, molécule d'intérêt de l'indigo. On abordera cet aspect dans la dernière partie de ce rapport.

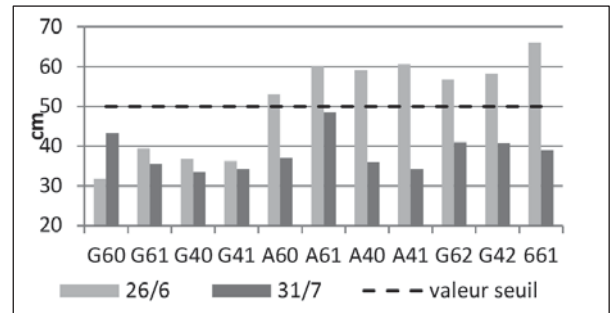
Étude comparative de la capacité de croissance de P. tinctorium selon les modalités de culture

En complément des précédentes études, il serait intéressant de connaître les capacités croissance post-récolte de *P. tinctorium* dans le but de bien organiser la campagne d'extraction de l'indigo. Cette étude n'a pu être faite que partiellement à partir, des mesures de hauteur, de diamètre et de biomasse sèche des plants, réalisées une semaine avant chaque récolte: le 26 juin pour la première et le 31 juillet pour la deuxième. La troisième récolte ayant lieu fin septembre, nous ne pourrions pas la prendre en compte dans cette étude. La première récolte a commencé le 2 juillet (terminée le 18). Les mesures et les prélèvements du 31 juillet correspondent donc à l'état de développement des plantes 3 semaines après la récolte.

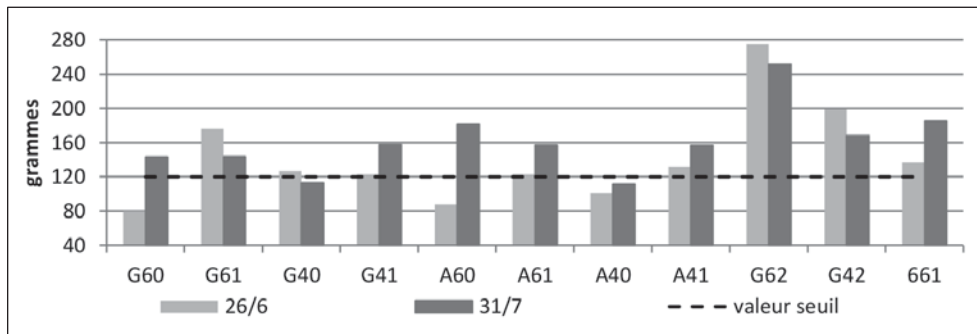
³ Contenant minimum 5 % d'azote organique, soit 50 kg d'azote par tonne de tourteau de ricin.



Graphique 7 : diamètre moyen des plants au 26 juin et au 31 juillet avant chaque récolte, valeur seuil fixée à 50 cm.



Graphique 8 : hauteur moyenne des plants au 26 juin et au 31 juillet avant chaque récolte, valeur seuil fixée à 50 cm.



Graphique 9 : masse sèche moyenne des plants au 26 juin et au 31 juillet avant chaque récolte, valeur seuil fixée à 120 g.

Concernant la croissance horizontale (Graphique 7), toutes les modalités arrivent à la valeur seuil. On distingue cependant déjà deux catégories : celles qui dépassent difficilement la valeur seuil et qui correspondent aux modalités irriguées par GAG et les autres qui la dépassent largement et qui correspondent aux modalités irriguées par aspersion.

Cet écart se creuse d'avantage lorsqu'on analyse l'histogramme de la croissance verticale (Graphique 8). Au 31 juillet, seule la modalité A61 s'approchait de la valeur seuil. Les modalités irriguées par GAG n'ont pas atteint la valeur seuil au 26 juin mis à part les modalités G62 et G42 qui se sont développées sur un sol deux fois plus enrichi en azote que le reste de la parcelle.

La valeur seuil de masse sèche (120 g) est généralement dépassée par les plantes au 31 juillet mais difficilement atteinte au 26 juin (Graphique 9). L'ablation des bourgeons terminaux lors de la récolte va initier la croissance de bourgeons axillaires conduisant à la démultiplication des tiges, des feuilles et donc de biomasse sèche (Illustration 5). Les modalités de culture sans paillage atteignent bien plus facilement la valeur seuil lors de la deuxième récolte que les autres, pour des raisons déjà

évoqués (voir Étude comparative de la croissance en fonction de la couverture du sol).

En conclusion, on déconseillera fortement l'usage du paillage plastique pour la culture de *P. tinctorium* à cause des effets inhibiteurs sur le développement normal de ces plantes.



Fig. 7 : développement des bourgeons axillaires après récolte.

Photo : Philippe Chiffolleau.

3. CONCLUSION DE L'ÉTUDE AGRONOMIQUE

À ce stade de la réflexion dans la recherche d'une rentabilité de la filière indigo, on peut d'ores et déjà tirer des conclusions partielles de cette étude agronomique :

- L'usage d'un paillage en plastique et du GAG est non seulement coûteux mais est très peu recommandé vu le mode de développement de *P. tinctorium*. Cependant Il faudra veiller à arroser abondamment ces cultures gourmandes en eau.

- Commander des plants dans des mottes de 4 x 4 cm de terre, allège considérablement la facture par rapport à l'achat des plants dans des mottes de 6 x 6 cm. Ce choix s'avère aussi rentable concernant le transport et la plantation de ce type de plant.

- L'apport de 100 kg/ha d'engrais organique (sous forme de tourteau de ricin) semble être un très bon choix pour la

culture de *P. tinctorium*. pour la production de biomasse qu'il engendre mais aussi pour la précocité des récoltes.

- La densification de la plantation favorise elle aussi une récolte précoce des feuilles.

Bien que cette étude n'ait pu être réalisée que sur le premier cycle de développement des plantes et sur la repousse après une récolte, on peut déjà sélectionner des modes de cultures qui seront intéressants pour une étude à plus grande échelle. Les modalités sous aspersion et disposant de suffisamment d'azote correspondent à des itinéraires techniques viables pour la culture de *Polygonum tinctorium*. Il ne restera donc plus qu'à mener une étude afin de définir le meilleur itinéraire parmi les modalités A62, A42, 642 et 662. Il faudra aussi très certainement étudier les limites de la fertilisation azotée pour la culture biologique de *P. tinctorium*.

Type d'irrigation	Densité (plantes/ha)	Taille des mottes-type de plant	Fertilisation (T/ha de tourteau de ricin)	Code référence des modalités
Aspersion	20 000	6 x 6 cm	1	A62
Aspersion	20 000	4 x 4 cm	2	A42
Aspersion	60 000	6 x 6 cm	2	662
Aspersion	60 000	4 x 4 cm	2	642

Tableau 2 : modalités de cultures de *Polygonum tinctorium* conseillées.

Bibliographie

BAIZE D. & JABIOL B., 1995. *Guide pour la description des sols*. Ed. INRA, 375 p. (réédité en 2011 par Ed Quae)

BRIERE S. & CHIFFOLLEAU P., 2012. *Filière des colorants naturels Mise en culture expérimentale de trois plantes pour la production de trois couleurs primaires*. Parc naturel régional du Luberon, Apt, 39 p.

CHIFFOLLEAU P. & GUILON L., 2014. Production expérimentale d'indigo de *Polygonum tinctorium* Aiton sur le Parc du Luberon (Polygonacées) – Partie 1 : contribution à l'amélioration des connaissances scientifiques sur la synthèse de l'indigotine et optimisation du protocole d'extraction. *Courier scientifique du Parc naturel régional du Luberon et de la Réserve de biosphère Luberon-Lure*, n° 12 (2013-2014), pp. 28-39.

GARCIA M., 2012. *Trois plantes tinctoriales à cultiver en moyenne vallée de Durance*. Rapport de travaux pour le compte du Parc naturel régional du Luberon, Plantes et Couleurs, Lauris, 37 p.

MINAMI Y., NISHIMURA O., HARA-NISHIMURA I., NISHIMURA M. & MATSUBARA H., 2000. Tissue and intracellular localization of indican and the purification and characterization of indican synthase from indigo plants. *Plant Cell Physiology*, Vol. 41, n° 2, pp. 218-225.

MORREN C., 1839. *Mémoire sur la formation de l'indigo dans les feuilles de Polygonum tinctorium ou renouée tinctoriale*. Bruxelles, M. Hayez, Imprimeur de l'Académie royale, 32 p.

RICKETTS R., 2006. *Polygonum tinctorium*: contemporary indigo farming and processing in Japan. In MEIJER L., GUYARD N., SKALTSOUNIS A.-L. & EISENBRAND G. (editors), *Indirubin, the red shade of indigo*. Roscoff, Life in Progress Editions, pp. 147-156.