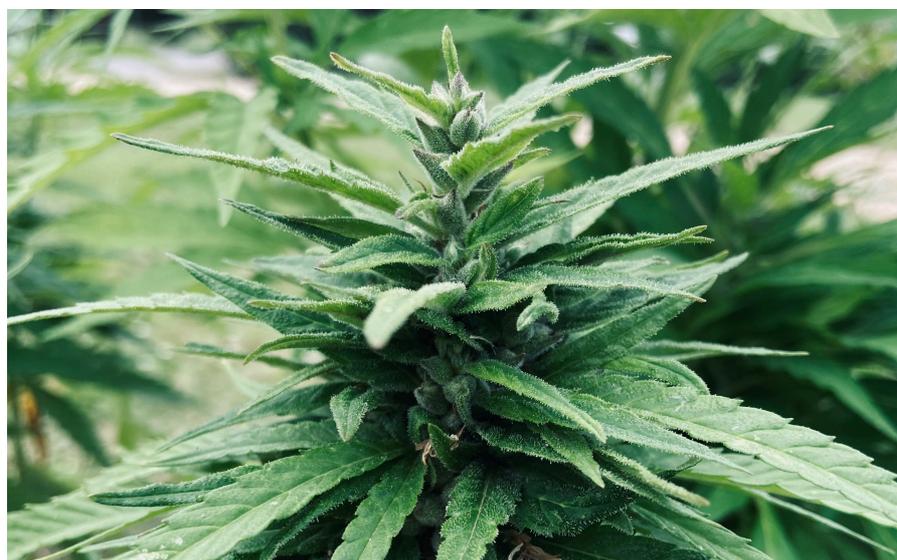


<p>L'Institut Agro Rennes-Angers <input checked="" type="checkbox"/> Site d'Angers <input type="checkbox"/> Site de Rennes</p>	<p> </p>	<p>      </p>
<p>Année universitaire : 2021-2022 Spécialité : Paysage Spécialisation (et option éventuelle) : IEVU agriculture urbaine</p>		<p>Mémoire de fin d'études</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> d'ingénieur de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)</p> <p><input type="checkbox"/> de master de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)</p> <p><input type="checkbox"/> de l'Institut Agro Montpellier (étudiant arrivé en M2)</p> <p><input type="checkbox"/> d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)</p>

Étude technico-économique sur l'itinéraire cultural de deux variétés de chanvre industriel pour la production de CBD et CBG

Par : Arthur LIBAULT



Soutenu à Angers le 14 Octobre 2022

Devant le jury composé de :

Président : Gilles Galopin

Maître de stage : Professeur Haissam Jijakli, Nicolas Ancion et Françoise Bafort

Enseignant référent : Soulaïman Sakr

Autres membres du jury :

Frédéric Lota, expert extérieur

*Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité
de son auteur et non celle de l'Institut Agro Rennes-Angers*



Remerciements

Je souhaite dans un premier temps remercier les personnes m'ayant permis de mener à bien ce stage de fin d'études. Françoise Bafort et Nicolas Ancion pour leur accompagnement et leur aide dans les différentes étapes de ce travail, ainsi que le professeur Haissam Jijakli pour la supervision et les opportunités offertes. Au sein du laboratoire de phytopathologie intégrée et urbaine, je souhaite aussi remercier tous les collègues et stagiaires qui ont créé un environnement de travail sain et convivial. Je remercie aussi Yves Brostaux pour son aide sur le choix des modèles statistiques.

Je remercie particulièrement Jimmy et Sam pour leur aide technique tout au long de la culture du chanvre.

Je remercie toute l'équipe enseignante de l'Institut Agro centre d'Angers, pour la qualité de la formation continue.

Je tiens à remercier également Soulaïman Sakr pour l'accompagnement sur ce travail et sa bienveillance.

Je remercie tous mes amis qui ont plus que participé à rendre ces 5 années d'études inoubliables !

Enfin, je te remercie toi, Kenza, qui m'accompagne depuis plusieurs années maintenant, pour ton aide au quotidien et tout l'amour que tu me donnes.

1. Introduction

1.1 Contexte

Ce mémoire de fin d'étude représente l'aboutissement de 5 années à l'Agrocampus-ouest d'Angers (Institut Agro Rennes-Angers). Dans le cadre du cursus de Paysage, d'une spécialisation en IEVU (Ingénierie des Espaces Végétalisés Urbains) et d'une sous-spécialisation en agriculture urbaine réalisée à AgroParis Tech, j'ai voulu réaliser un stage en lien avec l'innovation en agriculture urbaine.

Ce travail de 7 mois a été réalisé en Belgique, au sein du Centre de Recherche en Agriculture Urbaine (C-RAU) de la faculté d'agronomie de Gembloux AgroBio-Tech, Université de Liège.

L'étude porte sur la rentabilité d'une production de chanvre suivant différents itinéraires de culture. À travers les processus et techniques utilisés mais aussi par le lieu de production, nous chercherons à mieux comprendre les opportunités de ce marché en pleine expansion. Ce projet s'inscrit dans plusieurs projets du centre de recherche. Tout d'abord, le projet GROOF (Greenhouses to Reduce CO2 On roofFs) est un projet qui réunit plusieurs serres pilotes en Europe (Belgique, Luxembourg, France et Allemagne) afin de partager les données collectés sur les effets des serres dans différents contextes. Cette étude s'intègre également dans le projet OPTIBIOMASSE qui vise à étudier et optimiser la production à grande échelle de biomasse végétale dans le cadre de l'exploitation de molécules d'intérêt pharmaceutique (conteneurs de production).



Figure 1 : Photographies aérienne de la Serr'ure et des parcelles de chanvre cultivées
(crédit : Arthur Libault)

1.2 L'histoire du chanvre

Le chanvre (*Cannabis sativa*) est une plante annuelle de la famille des CANNABACEAE et décrite par L. Lamarck en 1785 (Hillig, 2005). Ses premières utilisations remonteraient à -500 av JC en Chine, où sa résine était utilisée comme excitant, inhibiteur de souffrance et coupe-faim. Elle était donc cultivée comme plante fétiche et médicinale (Chevalier, 1944). C'est plus tard que son utilisation s'étendra au textile et à l'huile.

Le *Cannabis sativa* se détache en 2 sous-catégories selon ses origines. On parle alors des chanvres « russes » et « tropicaux ». Puisqu'ils se sont développés dans des conditions climatiques et géographiques différentes, les plants issus de ces 2 catégories se distinguent par leur concentration en delta-9-tétrahydrocannabinol (Δ -9-THC). Les chanvres « russes » se caractérisent par des taux avoisinants les 0,5 %, c'est le *Cannabis sativa sativa*. Les espèces dites « tropicales », ont souvent un taux de Δ -9-THC entre 2 et 5 %, c'est le *Cannabis sativa indica* (Bertucelli, 2015).

Les chanvres sont aussi très utiles pour leurs fibres très résistantes, notamment utilisées dans la navigation pour les voilures et cordages (Plateau & Holzemer, 2016). Mais avec le développement massif des industries de la pétrochimie, les fibres végétales laissent très rapidement leur place aux fibres synthétiques plastiques qui sont souvent moins chères et plus facilement industrialisables (Géradon & al, 2021). Dans les années 1990, l'usage du chanvre s'ouvre à de nouveaux marchés notamment celui de la construction. Dans une démarche de réduction des consommations énergétiques liées à la fabrication des produits du bâtiment, les matériaux à base végétale et recyclables permettent d'aboutir à un bilan carbone négatif (Plateau & Holzemer, 2016). Dans leur dossier de presse de 2020, Hemp-it une entreprise de semences de chanvre, note 8 axes d'utilisation du chanvre : le bâtiment et la construction, l'industrie ferroviaire, l'agroalimentaire, l'industrie automobile (tableaux de bord en composites renforcés avec fibres de chanvre), la mode (lunettes en fibre de chanvre), la gastronomie, la nutrition (compléments alimentaires à base d'huile de graine), et la parapharmacie avec déjà des résultats concernant l'effet des produits dermatologiques sur les rougeurs, l'eczéma ou encore le psoriasis (Cavaro & al, 2020). Les domaines du bâtiment, des transports, et récemment des sports de loisirs ainsi que le marché du luxe sont les principaux domaines de développement des fibres lin et chanvre pour leur « performance mécanique, de légèreté, d'amortissement des vibrations, d'isolation thermique ou phonique, d'absorption/désorption ou de bilan écologique » (Bono & al, 2015).

D'après le sixième rapport du GIEC (deuxième version), les enjeux climatiques actuels sont aussi un point majeur pouvant permettre le retour du chanvre dans notre quotidien. En raison de la vulnérabilité de près de la moitié de la population mondiale au changement climatique, de la perte de 8 % des terres agricoles d'ici 2100 ou encore de l'impact sur la biodiversité (Lautre, 2022), il est vital de réfléchir à des solutions durables pour limiter les effets négatifs de l'Homme sur l'équilibre climatique. D'après le plan filière d'interchanvre de 2017, le chanvre a un rôle de structuration du sol par ses racines, de captation massive de CO₂ (« 1 ha de chanvre absorbe autant de CO₂ qu'1 ha de forêt, soit 15 tonnes »), et dans le cas du béton de chanvre c'est 48Kg d'équivalent CO₂ qui sont stockés par m² de mur. La présence de la culture de chanvre dans une rotation permet un gain de 5 à 10% du rendement de la culture céréalière ainsi qu'une réduction de la présence d'adventices graminées même si elle favoriserait la présence de rongeurs. (Peschaud, 2015). Enfin, cette plante n'a ni besoin d'arrosage ni d'utilisation de produits phytosanitaires, et la filière est maîtrisée et 100% française avec des processus de transformation mécaniques (Interchanvre, Plan Filière, 2017).

Au travers de ses multiples usages, le chanvre semble pouvoir avoir, à son échelle, une place importante dans l'évolution des pratiques agricoles, industrielles et sanitaires.

Les axes de développements de la filière chanvre sont de plus en plus nombreux et suscitent de nombreuses recherches. Pour suivre toutes ses activités, la filière doit être organisée à différentes échelles.

1.3 La filière chanvre

1.3.1 Sa structure

« La filière du chanvre industriel est d'une dimension économique faible, sans être dans le champ de la microéconomie » (**Bertucelli, 2015**).

L'Europe était le 2ème plus gros producteur de chanvre en 2016 avec 33 300 ha, derrière la Chine (45 000 ha). La France se place au premier rang de producteur en Europe avec plus de la moitié des surfaces exploitées. Sur le territoire français, il existe 6 chanvrières employant 121 salariés auprès de 1414 producteurs en 2016 (**Interchanvre, Plan Filière, 2017**).

La Fédération Nationale des Producteurs de Chanvre (FNPC) a été créée en 1932 afin de regrouper les syndicats des producteurs de chanvre français. La FNPC ainsi que la Coopérative des Producteurs de Semences de Chanvre (CCPSC) fondée en 1965, se sont réorganisées en 2018 afin d'avancer dans la sélection variétale pour répondre aux évolutions rapides du marché sur les taux de fibres, la taille des graines de chanvre, composition oléique et le taux de protéines (**Interchanvre, Plan Filière, 2017**). La filière fixe des Cotisations Volontaires Obligatoires (CVO) sur la base d'un accord interprofessionnel. Avec ces CVO, Interchanvre peut réaliser des actions de développement et de représentation, en partenariat avec Terres Inovia (**Bertucelli, 2015**). L'institut technique Terre Inovia est missionné par l'interprofession InterChanvre pour contribuer à la recherche agronomique sur le chanvre à différents niveaux (itinéraire technique, observatoire...) (**Interchanvre, Plan Filière, 2017**). Il est possible d'avoir accès à une subvention de 240 €/ha de chanvre accordé par la PAC dans le cadre des MAEC (Mesures Agro Environnementales et climatiques) (**NatAgriWal, 2022**).

1.3.2 Les produits du chanvre

Comme le montre la **figure 2**, toutes les parties dans cette plante sont exploitables dans des fractions différentes et pour des usages parfois spécifiques.

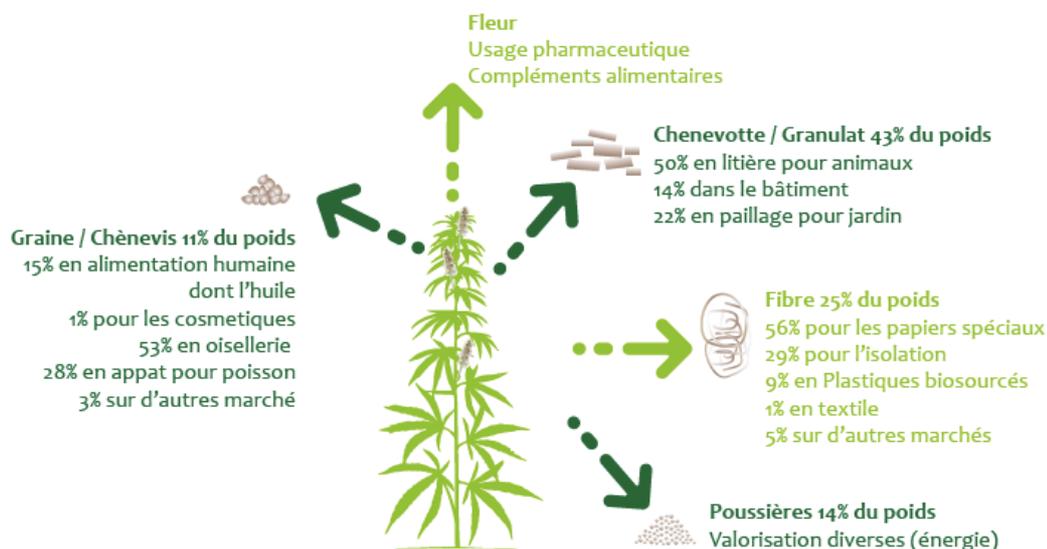


Figure 2 : Schéma des débouchés du chanvre et de l'utilisation des différentes fractions (**Interchanvre, Plan Filière, 2017**)

Le processus générique d'extraction des fibres végétales se décompose en 3 phases qui s'effectuent après une étape de rouissage au champ. La décortication consiste à séparer la matière ligneuse (ou moelle) de la fibre libérienne. La séparation consiste à séparer les différentes fractions végétales obtenues. L'affinage se focalise sur les fibres jusqu'à éventuellement l'obtention de fibres élémentaires **(Meirhaeghe, 2011)**.

La deuxième étape permet l'obtention de la chènevotte d'un côté et de la fibre de l'autre, les poussières représentent les parties détruites par l'effort mécanique des 3 étapes. Les différentes fractions ainsi obtenues seront utilisées dans les domaines précédemment décrits.

La graine se positionne sur le marché mondial. En effet, cette graine oléagineuse, appelée chènevis est particulièrement utilisée dans l'alimentation des oiseaux et de plus en plus dans l'alimentation humaine dans l'Europe du Nord et l'Amérique du Nord. Malgré encore quelques freins pour l'alimentation animale d'élevage, cette graine trouve progressivement sa place. Elle présente un équilibre Omega 6 / Omega 3 (4/1) très proche du ratio idéal de 5/1. Dans les pays riches, le ratio des graisses pour l'alimentation humaine est de 20/1, et de 10/1 en France **(Bertucelli, 2015)**.

Les fleurs sont principalement utilisées dans le domaine de la pharmacologie et leur utilisation se fait en Amérique du Nord et en Chine **(Interchanvre, Plan Filière, 2017)**. En raison des réglementations en place en Europe principalement sur le Δ -9-THC, les acteurs motivés pour vouloir se lancer dans cette activité semblent être découragés par ces difficultés **(Thouminot, 2015)**.

1.4 Législation des produits

1.4.1 Les métabolites secondaires

Les différents produits issus du chanvre sont soumis à différents contrôles. Une part très importante de ceux-ci se concentrent sur les concentrations de certains métabolites secondaires de cette plante, essentiellement le Δ -9-THC. Le Δ 9-tétrahydrocannabinol (THC) est identifié en 1964 par Mechoulam, c'est le principal composé psychoactif du cannabis qui est responsable des effets euphorisants recherchés en contexte récréatif. Ce composé est aussi responsable de plusieurs effets indésirables, particulièrement des effets neuropsychiques et neuro-développementaux **(Pélissier-Alicot & al, 2019)**.

La notion de métabolites secondaires s'oppose à celle de métabolites primaires représentés par les lipides, protides, glucides et acides nucléiques, ayant un rôle essentiel dans le fonctionnement physiologique de la plante. Appartenant à des groupes chimiques variés tels que les terpènes, les alcaloïdes et les composés phénoliques, les métabolites secondaires ne sont pas encore reliés à des fonctions physiologiques précises, et semblent, pour certains végétaux, plutôt intervenir dans leur protection vis-à-vis de leur environnement. Toutefois, il semblerait que le terme « secondaires » soit depuis quelques années à remettre en question, à la suite des résultats obtenus ces vingt dernières années et mettant en évidence des fonctions de ces composés **(MACHEIX & al, 2005)**.

1.4.2 Les effets sur l'Humain

Concernant les propriétés du chanvre sur l'être Humain, nous devons nous intéresser plus particulièrement à ses principaux cannabinoïdes. Cette plante contient plus de 500 ingrédients chimiques dont 120 cannabinoïdes **(Benhaberou-Brun, 2019)**. Le THC ainsi que le CBD (cannabidiol) sont les 2 cannabinoïdes qui suscitent le plus d'intérêts.

Ces 2 principales molécules ont des effets sur le corps Humain à de nombreux niveaux, comme le montre le tableau 1 ci-dessous.

Tableau n°1: Principaux effets du THC et du CBD (**Benhaberou-Brun, 2019**)

SYSTÈMES	EFFETS DU THC	EFFETS DU CBD
Nerveux central	Sédation, analgésie, antimigraineux, antiémétique, stimulation de l'appétit, affaiblissement des réflexes, ralentissement du temps de réaction	Analgésique, anxiolytique, antiépileptique, antipsychotique
Respiratoire	Bronchodilatation	-
Cardiaque	Tachycardie, hypertension	Bradycardie, hypotension
Immunitaire	Diminution de la résistance aux infections (effet chronique)	Immunomodulateur, anti-inflammatoire
Endocrinien	Hypoglycémie	-

Le système endocannabinoïdes agit sur plusieurs fonctions physiologiques telles que les fonctions motrices, la mémoire, la motivation, l'énergie, la douleur et les émotions (**Leleu-Chavain & al, 2013**). Le Dr. Mechoulam a également isolé 2 endocannabinoïdes présents dans le corps humain naturellement, la 2-AG et Anandamide. Cette dernière a un effet similaire au THC lors de sa liaison avec les récepteurs cannabinoïdes et est par ailleurs utilisée dans le chocolat, ce qui explique le plaisir lié à son ingestion (**CBX médical, 2021**).

En 2019, plus de 250 études cliniques contrôlées ont montré les bienfaits du *Cannabis* sur une dizaine de pathologies. Néanmoins, de nombreux auteurs avertissent qu'il ne faut pas négliger la toxicité de cette plante. En raison des effets de ces molécules, la consommation de ces substances n'est pas à combiner avec des activités à risque, en lien avec la sécurité ou encore à la conduite (**Benhaberou-Brun, 2019**). Depuis les années 2000, la France a mis en place une législation permettant de sanctionner l'usage de cannabis au volant grâce à une analyse sanguine. Mura & al proposent également des contrôles auprès des personnes occupant des postes à risque ou de sécurité en entreprise (**Mura & al, 2004**). D'après une étude de 2020 basée sur les effets épigénétiques du cannabis, l'auteur conclut par l'appel au « principe de précaution » en raison des risques sanitaires liés à l'épigénétique en plus de ceux déjà documentés (**Costentin, 2020**). Le CBG a montré des effets anti-inflammatoires sur la colite murine et sur les maladies inflammatoires de l'intestin, ainsi que des effets stimulants sur les comportements alimentaires chez des souris. Ce cannabinoïde a également montré une inhibition de l'aldose réductase, connue pour provoquer une accumulation de sorbitol et une augmentation du taux de glucose dans le sang, ce qui peut conduire au diabète. (**Zagožen & al, 2020**)

1.4.3 La réglementation

C'est au XXe siècle que l'usage du cannabis est interdit par la loi. Le *Cannabis* est un produit illicite, classé comme stupéfiant au niveau international (**Giorgio, 2017**). Suite à cette loi du 31 décembre 1970, acheter, consommer, détenir, revendre, en cultiver (chez soi ou à l'extérieur) sont passibles d'amendes et de peine de prison. Depuis la loi du 3 février 2003, les peines sont de 2 ans d'emprisonnement et de 4 500 € d'amende, les peines sont doublées si le produit à base de cannabis est vendu ou donné à des mineurs (**ofdt, 2020**).

Concernant la réglementation au niveau mondial, plusieurs pays comme le Canada, l'Uruguay et certains états des États-Unis ont légalisé la consommation récréative du cannabis. D'autres l'ont partiellement légalisé, c'est le cas du Népal pour certaines fêtes religieuses et aux Pays-Bas où seule la consommation est autorisée, mais pas la production. Dans une autre mesure, l'Israël a été le premier pays à développer la production et la commercialisation de cannabis thérapeutique. Cette tendance se développe dans la plupart des pays de l'Europe et dans d'autres pays du monde (**CBX médical, 2022**).

En France, il existe un groupe de codes douaniers (NC 5302 et 5302 10 00) qui s'applique au chanvre. Dans ce même document, on retrouve l'article R5132-86 de la santé publique Française traitant de la circulation, de la production et de l'emploi des produits issus du cannabis (résine ou plante). Il existe aussi une rubrique au catalogue communautaire des

espèces de grandes cultures. Toute activité liée à cette plante dépendra d'un statut légal soumis à plusieurs conditions présentées dans ces articles. Une dérogation peut être obtenue ou non en fonction de la variété ou d'un certain usage. **(Bertucelli, 2015)**.

D'après la synthèse de « Pour une réglementation du cannabis en Belgique » de 2020 et du site officiel de CBX médical, il apparaît qu'il existe un « flou juridique » sur ce territoire en raison de textes contradictoires ou sujets à interprétation. Malgré ce manque de précision, il semblerait que le législateur distingue les usages récréatifs (relativement tolérés) des usages thérapeutiques. La réglementation actuelle en Belgique autorise des produits à base de CBD avec moins de 0,2 % de THC. Ce taux passera à 0,3 % en 2023 et est déjà effectif en France **(CBX médical, 2022 ; FEDITO BXL, 2020)**.

Pour entamer la démarche de produire du chanvre en Belgique, plusieurs étapes clés sont à connaître. Toute parcelle de chanvre doit être déclarée dans un formulaire de déclaration de superficie, seules des variétés inscrites au catalogue commun des variétés des espèces agricoles (THC<0,2%), semées au minimum à 30kg/ha peuvent être produites. La dérogation doit être accompagnée d'une copie du bon de commande ou de la facture d'achat, ainsi qu'une copie des étiquettes de certification des semences. Enfin, les parcelles de chanvre peuvent faire l'objet d'un contrôle de terrain avec le prélèvement d'échantillons pour vérifier le taux de THC. L'agriculteur doit conserver les étiquettes de certification des semences au moins 3 ans en cas de contrôle. L'agriculteur doit obligatoirement avertir l'administration au moins 10 jours ouvrables avant le stade floraison **(Géradon & al, 2020)**.

Depuis quelques années, et compte tenu des effets et du contrôle fait sur cette plante due à la présence du THC, c'est le CBD (non-psychoactif), l'autre cannabinoïde principal du chanvre, qui se développe de plus en plus et dont le marché évolue très rapidement **(Thouminot, 2015)**.

	Diplôme : Ingénieur en Paysage Spécialité : Paysage Spécialisation / option : IEVU Agriculture Urbaine Enseignant référent : Soulaïman Sakr
Auteur(s) : Arthur Libault Date de naissance* : 4 Juillet 1999	Organisme d'accueil : Gembloux Agrobio-Tech, Université de Liège
Année de soutenance : 2022	Adresse : 13 Av. du Maréchal Juin, Bât.47, 5030, Gembloux, Belgique
Nb pages : 60 Annexe(s) : 6	Maître de stage : Professeur M.H. Jijakli, N. Ancion et F. Bafort
Titre français : Étude technico-économique sur l'itinéraire cultural de 2 variétés de chanvre industriel pour la production de CBD et CBG	
Titre anglais : Technical and economic study on the cultivation of two industrial hemp varieties for CBD and CBG production	
Résumé (1600 caractères maximum) : Le chanvre (<i>Cannabis sativa sativa</i>) est une plante très utilisée par l'Homme dans l'histoire. Cette plante est entièrement valorisable dans plusieurs domaines d'activité et présente de nombreux avantages agronomiques. L'utilisation de ses fleurs, très règlementé, trouve sa place progressivement dans le domaine médical en démontrant son utilité pour plusieurs pathologies. Dans le cadre de la production de cette plante en Belgique, nous étudions plusieurs itinéraires de culture afin d'appréhender la rentabilité de ces techniques et de leur impact sur la qualité de la production. En serre sur toiture ou culture au champ traditionnelle, différents sites sont étudiés. L'effet d'un régulateur de croissance, l'éthéphon, est étudié dans la solution nutritive hydroponique en serre. Trois doses du régulateur de croissance sont testées. Les meilleurs effets sur la réduction de la taille ainsi que sur la concentration en métabolites d'intérêts - le CBG de la variété Santhica 27 et le CBD de la variété Féline 32 - ont été observés pour les deux plus fortes doses d'éthéphon. C'est au champ que nous retrouvons les plus fortes concentrations en CBD chez Féline 32. Chez Santhica 27, les concentrations en CBG au champ sont semblables à celles de la dose d'éthéphon la plus forte en serre. L'étude économique témoigne de la nécessité d'améliorer l'itinéraire technique en serre et de diminuer le temps de travail lié à la récolte.	
Abstract (1600 caractères maximum) : Hemp (<i>Cannabis sativa sativa</i>) is a plant that has been used extensively by humans throughout history. This plant can be used in many fields of activity and has many agronomic advantages. The use of its flowers, which is highly regulated, is gradually finding its place in the medical field by demonstrating its usefulness for several pathologies. Within the framework of the production of this plant in Belgium, we are studying several cultivation itineraries in order to understand the profitability of these techniques and their impact on the quality of the production. Various sites are being studied, one in the greenhouse and a second one in a traditional field. The effect of a growth regulator, ethephon, is studied in the greenhouse hydroponic nutrient solution. Three doses of the growth regulator are tested. The best effects on size reduction and on the concentration of metabolites of interest - CBG in the Santhica 27 variety and CBD in the Felina 32 variety - were observed for the two highest doses of ethephon. The highest CBD concentrations were found in the field with Felina 32. In Santhica 27, the CBG concentrations in the field are similar to those of the highest ethephon dose in the greenhouse. The economic study shows that it is necessary to improve the cropping patterns in the greenhouse and to reduce the time spent on harvesting.	
Mots-clés : Chanvre / Hydroponie / Itinéraire cultural / Éthylène / CBD / CBG Key Words: Hemp / Hydroponic / Cropping partterns / Ethylene / CBD / CBG	