



Pour la question du vieillissement des matériaux soumis à une irradiation intense de neutrons, une importante activité de recherche et de développement est toujours en cours pour trouver les meilleures solutions pour les successeurs d'*Iter*. Des dispositifs expérimentaux sont en cours de préparation en Espagne et au Japon sur cette question.

Existe-t-il des pistes de réacteurs sans émission de neutrons ?

Effectivement, une firme comme TAE Technologies explore la piste de la fusion hydrogène-bore 11. Elle ne produit pas de neutrons, mais il faut chauffer dix fois plus le plasma que pour *Iter*. Or à de telles températures, les électrons commencent à perdre de l'énergie par rayonnement. Cela devient difficile de trouver les bons paramètres pour une configuration stable.

Mais même si ce projet n'aboutissait pas, je considère que toutes ces initiatives sont très intéressantes. On assiste à une véritable accélération dans le secteur de la fusion. On a une sorte de galaxie, avec une grosse étoile, *Iter*, entourée d'une myriade de projets plus modestes, qui ont leur utilité. Les ingénieurs et chercheurs attirés dans ces entreprises trouveront peut-être des solutions à des problèmes, mettront au point des méthodes d'optimisation qui seront intégrées aux successeurs d'*Iter*. L'expérience acquise par ces firmes sera aussi utile pour une étape clé : celle de la transition de réacteurs essentiellement destinés à la recherche vers des solutions commerciales.

Quel est le calendrier pour les années à venir ?

L'assemblage du dispositif d'*Iter* était en bonne voie mais a été, et est encore, très

perturbé par l'épidémie de Covid. Certaines usines où sont fabriqués les éléments du réacteur ont fermé pendant plusieurs mois ou ont opéré au ralenti. Le transport maritime est aussi très compliqué. La logistique sur le site de Cadarache est actuellement très difficile.

Le premier plasma sans fusion était prévu pour 2025. Nous aurons probablement du retard. En revanche, grâce à une planification modifiée, comme un jeu de Tetris, je suis assez optimiste pour le premier plasma deutérium-tritium en 2035 comme prévu.

Après *Iter*, son successeur, le réacteur *Demo* (*Demonstration power plant*, en anglais), pourrait démarrer dès 2050. L'objectif de ce projet est de démontrer qu'il est possible de produire de l'électricité avec un rendement commercial intéressant.

2050... c'est bientôt !

Absolument. Il faut bien voir que la mission d'*Iter* est de défricher un vaste terrain avec de nombreuses problématiques à résoudre : les dimensions du réacteur, combiner l'expertise acquise à travers le monde, la sûreté nucléaire, etc. On reproche souvent à ce projet ses retards de calendrier et le dépassement de budget. Le défi était hors norme et trop difficile à évaluer pour en prendre toute la mesure à son commencement dans les années 1980. La bonne nouvelle est que nous touchons au but.

Dans le futur, quelle sera la place de la fusion nucléaire dans la production d'énergie ?

La priorité, c'est d'arrêter d'utiliser les ressources fossiles (le gaz, le charbon et le pétrole) pour limiter les émissions des gaz à effet de serre. Aujourd'hui, nous avons différentes solutions : des énergies renouvelables (éolien, solaire, hydraulique) et la fission nucléaire.

Notre travail actuel consiste à développer une technologie supplémentaire pour offrir une option de plus dans le mix énergétique. Ce qui est assez clair, c'est que la fusion ne remplacera pas toutes les autres sources d'énergie. Elle n'a probablement pas vocation à être déployée partout, mais elle pourrait très bien être connectée au réseau près de grandes villes ou dans des bassins industriels.

La fusion présente de nombreux atouts : les réserves de combustibles seraient abondantes ; il n'y a aucun risque d'emballement ou d'explosion (si on arrête de chauffer le plasma, la réaction cesse) ; dans un réseau intelligent, les réacteurs à fusion peuvent être pilotés (allumés ou éteints) bien plus facilement que les réacteurs à fission ; les déchets radioactifs sont limités et peu dangereux, etc. Il reste à surmonter de nombreux défis techniques pour maîtriser pleinement cette source d'énergie.

Propos recueillis par Sean Bailly

BIBLIOGRAPHIE

A. Bécoulet, **L'Énergie de fusion**, Odile Jacob, 2019.

A. Creely et al., **Overview of the SPARC Tokamak**, *Journal of Plasma Physics*, 2020.

P. Rodriguez-Fernandez et al., **Overview of the SPARC physics basis towards the exploration of burning-plasma regimes in high-field, compact tokamaks**, *Proceedings of the 28th IAEA Fusion Energy Conference*, 2020.

L'ESSENTIEL

> Longtemps, le pouvoir thérapeutique du chanvre – *Cannabis sativa* – a été oublié. Il revient sur le devant de la scène, avec l'assouplissement des lois dans divers pays.

> Certaines études ont déjà révélé ses effets bénéfiques pour divers troubles, comme

la douleur et l'anxiété, mais les données ne sont pas encore suffisantes pour confirmer son intérêt thérapeutique à coup sûr.

> Ses bienfaits dépendent des doses et proportions de THC et CBD, ainsi que de l'âge et des antécédents du patient.

L'AUTRICE



ANNA LORENZEN
docteure en neurosciences
et journaliste à Oldenburg,
en Allemagne

Cannabis

Quand le prescrire?

Le THC et le CBD, ingrédients du cannabis, sont de plus en plus disponibles dans divers pays, sur prescription médicale ou en vente libre. Mais leur usage à des fins thérapeutiques fait encore l'objet d'études, pour en déterminer les avantages et inconvénients, en particulier pour les troubles mentaux.

Elles sont censées soulager la goutte et les rhumatismes, voire traiter le paludisme ou la constipation : il s'agit des fleurs femelles du chanvre, une plante de l'espèce *Cannabis sativa*. Dès 2800 avant notre ère, les habitants de la Chine utilisaient déjà le cannabis comme remède. Plus tard, le chanvre atteignit l'Inde, où il était utilisé comme antiépileptique, sédatif et anesthésique. À la Belle Époque, les préparations à base de cette plante jouirent même d'une grande popularité en Europe, par exemple en tant que médicament pour atténuer la douleur. Mais la dure campagne antidrogue qui battit son plein aux États-Unis au milieu du xx^e siècle mit un terme – provisoire – à l'utilisation du cannabis comme «thérapie»...

Toutefois, depuis peu, grâce à la législation mondiale qui ne cesse d'évoluer sur le sujet, le cannabis fait lentement son retour dans les armoires à pharmacie. Sur recommandation de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), en 2020, la Commission des Nations unies sur

les stupéfiants l'a retiré de la liste des drogues les plus dangereuses. De sorte que, tôt ou tard, le cannabis sera probablement commercialisé dans de nombreux pays, non seulement comme médicament, mais aussi comme stimulant. C'est d'ailleurs déjà le cas dans certains États américains, en Uruguay, au Canada et en Afrique du Sud : on peut y acheter du chanvre sous forme de marijuana – nom donné aux fleurs femelles séchées – ou de haschisch – la résine de la plante femelle – pour un usage personnel, récréatif ou médical.

LE CANNABIS REVIENT DANS LES ARMOIRES À PHARMACIE

En France, le ministère de la Santé a publié un décret autorisant l'usage du cannabis à des fins thérapeutiques le 9 octobre 2020, et une expérimentation a été lancée en mars 2021 pour tester son efficacité auprès de 3000 patients présentant des douleurs insoutenables non atténuées par les traitements classiques. Ce n'est qu'après l'analyse des résultats de cet essai, et





quelques évolutions de la loi française, que les médecins prescriront peut-être du cannabis dans certains cas.

Ailleurs en Europe, la situation a commencé à changer un peu plus tôt. En Allemagne, les médecins ont depuis 2017 le droit de délivrer une ordonnance pour des fleurs de cannabis et leurs extraits à des patients gravement malades, à condition que les substances proviennent de cultures contrôlées par l'État. Autre critère pour en prescrire : toutes les autres options thérapeutiques doivent avoir été testées et s'être révélées inefficaces.

Mais pour quoi le cannabis serait-il un bon remède ? En tant que médicaments, les substances contenues dans le cannabis ne sont pour l'instant recommandées que pour quelques troubles. Par exemple, comme analgésiques dans le cas de la sclérose en plaques ou comme anticonvulsifs pour les formes graves d'épilepsie. Administrées parallèlement à la chimiothérapie, elles sont aussi censées prévenir les nausées et les vomissements qui surviennent souvent pendant le traitement. Elles stimuleraient également l'appétit de certains patients en phase terminale de cancers ou d'autres maladies. C'est d'ailleurs pour ces applications que l'on teste le cannabis en France depuis le mois de mars 2021.

NABIXIMOLS, DRONABINOL, NABILONE...

Pour ce faire, il existe déjà sur le marché des médicaments composés de cannabinoïdes synthétiques ou naturels et approuvés par certaines autorités de santé. Ces derniers contiennent surtout du tétrahydrocannabinol, le THC, la principale substance psychotrope du cannabis, et du cannabidiol, le CBD, qui n'est pas psychoactif et ne modifie donc pas le fonctionnement psychique (*voir l'encadré ci-contre*). Par exemple, le médicament nabiximols contient autant de THC que de CBD ; on l'utilise comme spray oral pour soulager la sclérose en plaques et les douleurs chroniques. Quant aux dronabinol et nabilone, ils sont composés uniquement de THC. Et le CBD pur, vendu sous le nom d'«épidiolex» et déjà autorisé en France, réduirait les crises d'épilepsie infantile et grave. Mais tous ces médicaments sont parfois consommés pour d'autres troubles... Et en général, en automédication, sans prescription médicale.

En effet, cela fait bien longtemps que des personnes souffrant de divers problèmes de santé physique ou mentale utilisent le cannabis de leur propre chef. Pour quels motifs ? En 2019, une analyse de plusieurs études s'appuyant sur les dires et pratiques des consommateurs de cannabis a révélé les raisons les plus fréquentes : douleur, troubles anxieux et dépression. Certains utilisateurs, souvent

«fumeurs» de la plante, font part d'améliorations étonnantes de leur état psychique... Mais ces témoignages ne représentent en rien une preuve d'efficacité du cannabis ni de son mécanisme d'action. S'agit-il simplement d'un effet placebo – bénéfique parce qu'on croit au traitement sans que celui-ci n'ait d'effet réel – ou de quelque chose de plus important ?

DES EFFETS POSITIFS SUR LES TROUBLES MENTAUX ?

En fait, dans l'organisme et le cerveau, les voies de signalisation cellulaires sur lesquelles agissent les cannabinoïdes, comme le THC et le CBD, mais aussi les «endocannabinoïdes» naturellement présents dans notre corps, sont impliquées dans une multitude de processus cognitifs et émotionnels. Par exemple, chez les personnes souffrant de schizophrénie, de dépression ou de trouble de stress post-traumatique (TSPT), on constate des modifications de la densité des récepteurs cannabinoïdes dans différentes régions cérébrales, en comparaison avec des sujets non atteints d'un trouble mental. Il est donc plausible que la consommation de chanvre influe sur ces réseaux, et leurs récepteurs cannabinoïdes, pour atténuer ou, à l'inverse, aggraver les symptômes de ces pathologies.

Mais la recherche sur le fonctionnement du cannabis et du système cannabinoïde endogène n'en est encore qu'à ses balbutiements... Pourquoi ? D'abord, parce que ce système cannabinoïde de l'organisme est très complexe. On n'a identifié les récepteurs cannabinoïdes impliqués, le CB₁ et le CB₂, que dans les années 1990, et le chanvre contient des centaines de substances – pas seulement des cannabinoïdes – qui interagissent avec diverses molécules et récepteurs dans le corps et influent sur différentes voies de transmission des signaux : il est par conséquent difficile de déterminer quel composant du cannabis est responsable de tel ou tel effet.

Ensuite, parce que la pénalisation des composants du cannabis a entravé la recherche, rendant souvent leur accès plus difficile. Et l'intérêt des industriels pour les études avec le cannabis reste faible, car les médicaments qui en seraient issus ne promettent pas beaucoup d'argent à la clé. En outre, la conception des études soulève des difficultés : en effet, si vous voulez tester l'effet du THC comme médicament, il faut administrer le THC sous une certaine forme à un premier groupe de patients et un placebo sous la même forme à un autre groupe de sujets. Et tous doivent croire que le produit qu'ils prennent contient du THC pour que l'on puisse comparer l'effet de la molécule à celui du placebo. Le problème étant qu'on se rend vite compte si le traitement que l'on prend

LES CANNABINOÏDES

Le chanvre *Cannabis sativa* contient plus de 400 molécules, dont une centaine sont des cannabinoïdes. Les plus importants sont le tétrahydrocannabinol, ou THC, au fort pouvoir psychotrope, et le cannabidiol, ou CBD, non psychoactif. Ces phytocannabinoïdes sont principalement produits par les fleurs des plantes femelles. Mais dans notre corps, il existe aussi deux molécules similaires, nommées «endocannabinoïdes», qui se lient aux mêmes récepteurs cannabinoïdes que le THC, mais de façon moins intense.