



Revoir

Tendances émergentes dans l'électrofilage incorporé à la curcumine Nanofibres pour une cicatrisation altérée des plaies diabétiques

Ganesan Padmini Tamilarasi ¹ , Manikandan Krishnan ^{1,*} , Govindaraj Sabarees ² , Siddan Gouthaman ³ ,
Veerachamy Alagarsamy ^{4,*} et Viswas Raja Salomon ^{4,*}

¹ Département d'analyse pharmaceutique, SRM College of Pharmacy, SRM Institute of Science and Technology, Kattankulathur, Chennai 603203, Inde

² Département de chimie pharmaceutique, SRM College of Pharmacy, SRM Institute of Science and Technology, Kattankulathur, Chennai 603203, Inde

³ Laboratoire de matières organiques, Département de chimie, Institut indien de technologie, Roorkee 247667,

⁴ Inde Laboratoire de recherche en chimie médicinale, MNR College of Pharmacy, Greater Hyderabad, Sangareddy

502294, Inde * Correspondance : gurumani12@gmail.com (MK) ; profvalagarsamy@gmail.com (VA);
vrajasolon@gmail.com (VRS)

Résumé : Les plaies chroniques imposent un fardeau important aux individus et aux systèmes de santé du monde entier. Grâce à des investigations cliniques et précliniques, l'inflammation et les dommages oxydatifs ont été établis comme les principales causes des plaies chroniques. Ces plaies cutanées sont facilement exposées aux micro-organismes, qui à leur tour provoquent une inflammation et entravent le processus de guérison. De plus, les micro-organismes peuvent provoquer une infection qui empêche la production et la réépithélialisation du collagène. Les caractéristiques antioxydantes, anti-inflammatoires et anti-infectieuses de la curcumine, entre autres, ont été identifiées comme étant utiles pour la gestion de la cicatrisation des plaies diabétiques. Cependant, la curcumine présente quelques inconvénients, tels qu'une biodisponibilité limitée, une instabilité dépendante du pH, une insolubilité dans l'eau, une absorption cellulaire lente et un métabolisme intracellulaire rapide. Ces contraintes nécessitent le développement d'un transporteur approprié pour améliorer la stabilité, la biodisponibilité, l'efficacité thérapeutique et la solubilité de la curcumine. Ces dernières années, les tapis de nanofibres Electrospun ont constitué un excellent choix pour l'administration de médicaments en raison de leurs nombreux avantages et propriétés inhérentes. Les nanofibres électrofilées se sont révélées très prometteuses en tant que matériaux de pansement. Cette revue met en évidence les propriétés potentielles et les progrès récents dans l'utilisation de nanofibres chargées de curcumine pour la cicatrisation des plaies diabétiques.

Mots-clés : curcumine ; électrofilage ; les nanofibres ; systèmes de livraison avancés ; ingénierie des tissus cutanés ; cicatrisation des plaies diabétiques



Citation : Tamilarasi, médecin généraliste ; Krishnan,

M. ; Sabarees, G. ; Gouthaman, S. ;

Alagarsamy, V. ; Salomon, VR

Tendances émergentes dans les
nanofibres électrofilées incorporées à la
curcumine pour la cicatrisation des
plaies diabétiques altérées. Appl. Nano2022 ,
3, 202-232. <https://doi.org/10.3390/applnano3040015> _

Rédacteur académique : Johann Michael
Kohler

Reçu : 15 octobre 2022

Accepté : 15 novembre 2022

Publié : 17 novembre 2022

Note de l'éditeur : MDPI reste neutre en ce qui
concerne les revendications juridictionnelles dans
les cartes publiées et les affiliations institutionnelles.
iations.



Copyright : © 2022 par les auteurs.

Licencié MDPI, Bâle, Suisse.

Cet article est un article en libre accès
distribué selon les termes et
conditions des Creative Commons

Licence d'attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

La maladie métabolique la plus répandue, le diabète sucré, est provoquée par une incapacité à sécréter de l'insuline, ce qui conduit à une hyperglycémie en accélérant la perte de cellules pancréatiques. Cette maladie auto-immune provoque plusieurs maladies graves, entraînant des amputations des membres inférieurs, des défaillances d'organes et la mort. Les anomalies des membres inférieurs font partie des conséquences les plus répandues et les plus coûteuses du diabète [1,2]. Ces complications peuvent représenter jusqu'à un tiers des coûts directs associés au traitement du diabète, notamment les amputations des membres inférieurs et les ulcères du pied diabétique. Au cours de leur maladie, vingt-cinq pour cent des personnes diabétiques développeront un ulcère du pied diabétique, qui est la principale cause d'hospitalisation liée au diabète. De plus, un ulcère du pied diabétique sur cinq entraînera l'amputation du bas de la jambe [3]. L'amputation majeure d'un membre inférieur est une préoccupation majeure pour les patients souffrant d'ulcération du pied diabétique et d'ischémie persistante menaçant un membre. On s'inquiète depuis longtemps de la manière dont une présentation tardive et des soins retardés pourraient entraîner des taux d'amputation plus élevés. Les facteurs de risque cliniques d'ulcères du pied diabétique comprennent des antécédents d'ulcères du pied diabétique, une neuropathie périphérique diabétique, une hauteur pl

pressions et déformations du pied [4]. Cependant, les interventions préventives contre les ulcères du pied diabétique primaires et récurrents restent difficiles à atteindre. Lorsqu'une personne a un premier ulcère du pied, le risque d'en avoir un deuxième est de quarante pour cent la première année et d'environ cent pour cent après dix ans. Même s'il existe plusieurs recommandations pour gérer les deux troubles, il n'existe actuellement aucune fenêtre de temps convenue pour la mise en œuvre de soins et d'une thérapie professionnels [5]. Par conséquent, une approche basée sur la prévention est nécessaire pour garantir la rémission des ulcères du pied diabétique et un traitement durable et rentable du pied diabétique.

La curcumine a été découverte dans la racine de la plante curcumine longa L.. En Asie du Sud et du Sud-Est, le curcuma est utilisé depuis des générations dans les arts culinaires et médicaux traditionnels. La curcumine est un polyphénol largement utilisé comme épice, conservateur alimentaire, arôme et colorant en plus de son usage thérapeutique [6]. Les praticiens de la médecine traditionnelle indienne croient que la poudre de curcumine supprime plusieurs affections, notamment les troubles biliaires, le diabète, la sinusite, les rhumatismes, la toux, l'anorexie, le cancer, les troubles hépatiques et la maladie d'Alzheimer [7,8]. Dans la médecine traditionnelle et à base de plantes d'Asie du Sud et du Sud-Est, le curcuma est utilisé depuis des lustres pour soigner plusieurs troubles. Au cours des trois dernières décennies, l'utilité biologique et pharmacologique de la curcumine a été largement démontrée par des recherches approfondies [9,10]. Les caractéristiques antioxydantes, anti-inflammatoires et anti-infectieuses de la curcumine, entre autres, ont été identifiées comme étant utiles pour la gestion de la cicatrisation des plaies diabétiques. Cependant, la curcumine présente quelques inconvénients, tels qu'une biodisponibilité limitée, une instabilité dépendante du pH, une insolubilité dans l'eau, une absorption cellulaire lente et un métabolisme intracellulaire rapide [11-13]. La curcumine a fait l'objet de nombreuses tentatives visant à augmenter sa stabilité et sa biodisponibilité. L'utilisation topique de la curcumine peut améliorer sa force, son activité pharmacologique, sa solubilité et son efficacité thérapeutique [14]. Des recherches ont été menées pour améliorer la biodisponibilité de la curcumine en utilisant divers supports de médicaments (Tableau 1) [15,16].

Les systèmes d'administration actuels, tels que les techniques basées sur les nanofibres Electrospun fabriquées à partir de matériaux naturels et synthétiques, ou les deux, pour administrer des agents thérapeutiques, pourraient annoncer une nouvelle ère dans laquelle les problèmes de diabète sucré seraient évités [17-19]. Les macromolécules et les petites molécules peuvent être délivrées avec succès à l'aide de tels supports fibreux de délivrance. Les nanofibres peuvent également constituer un milieu idéal pour l'ingénierie des tissus cutanés à l'aide d'échafaudages de nanofibres [20-22]. De nombreux efforts de recherche ont suggéré l'utilisation possible de thérapies, notamment de tapis de nanofibres, pour proliférer, régénérer et remodeler les caractéristiques structurelles et fonctionnelles des ulcères cutanés diabétiques [23-25]. Cette revue vise à fournir au lecteur un aperçu complet des découvertes les plus récentes sur les nanofibres chargées en curcumine, y compris des études et des résultats confirmant leur implication efficace dans la cicatrisation des plaies diabétiques et leur énorme potentiel pour les applications de cicatrisation des plaies dia

Tableau 1. Un résumé des produits de pansements à base de curcumine disponibles et de leurs avantages.

S. Non	Pansement Matériaux	Curcumine avec Composition	Méthode de Formulation	Résultats	Réf
1	Tapis nanofibreux	Gélatine, trifluoroéthanol, glutaraldéhyde.	Méthode d'électrofilage	La curcumine a un profil de libération prolongée de la formulation. Les tapis nanofibreux mélangés de curcumine et de gélatine ont favorisé une cicatrisation plus rapide et plus efficace des plaies chez les rats Sprague-Dawley. Par rapport au groupe témoin, les couches de l'épiderme du groupe présentant une réépithélialisation et une différenciation significatives étaient bien développées.	[26] Mars 2017

Tableau 1. Suite

S. Non	Pansement Matériaux	Curcumine avec Composition	Méthode de Formulation	Résultats	Réf
2	Nanofibres	PCL	Méthode d'électrofilage	Il a le potentiel d'être biocompatible et cytoprotecteur, selon des études in vitro. Le troisième jour, une analyse de libération a montré que les fibres contenant 3 % et 17 % de curcumine libéraient 35 mg et 20 mg de curcumine sur une période prolongée. Des études sur la cicatrisation in vivo ont montré une capacité significative de fermeture des plaies en plus d'une action antioxydante et anti-inflammatoire.	[27] décembre 2009
3	Échafaudages de nanocristaux contenant des microsphères chargées de curcumine	Gélatine bovine, Collagène	Méthode d'évaporation du solvant en émulsion	Le profil de libération de la curcumine au fil du temps a amélioré la régénération cutanée et réduit avec succès l'inflammation locale dans une brûlure sur toute l'épaisseur d'un rat modèle d'infection.	[28] décembre 2017
4	Hydrogel nanocomposite	Copolymère MPEG-PCL, Alginate oxydé, Chitosane	Couche mince méthode d'évaporation	L'hydrogel nanocomposite régule et maintient le profil de libération de la curcumine. Au jour 14, un examen in vivo a montré que la plaie était complètement cicatrisée. Amélioration du dépôt de collagène, de la réépithélisation et du développement du tissu de granulation	[29] novembre 2012
5	Film hydrogel	Sacran, 2-hydroxypropylg-cyclodextrine	Solvant méthode d'évaporation	La libération de curcumine est lente et persistante. Activité antioxydante améliorée de la curcumine Cicatrisation plus rapide des plaies par rapport	[30] mai 2017
6	Système hydrogel contenant de la curcumine micellaire	Curcumine micellaire PEG-PCL, PEG-PCL-PEG hydrogel copolymère	Micelle de curcumine par méthode de dispersion solide et hydrogel par méthodes réticulées	aux autres groupes. Le pansement a montré une cicatrisation cutanée plus significative, une teneur accrue en collagène, une granulation améliorée et une maturité accrue de la plaie. 60% de libération prolongée de curcumine pendant 14 jours	[31] septembre 2013
7	Films de collagène	Collagène d'Achille bovin tendon	Réticulation	La cinétique de libération in vitro a démontré une libération de curcumine de plus de 60 % après 12 jours d'investigation. Forte expression du collagène et développement du tissu de granulation grâce à l'application de films de collagène contenant de la curcumine	[32] mai 2004

Tableau 1. Suite

S. Non	Pansement Matériaux	Curcumine avec Composition	Méthode de Formulation	Résultats	Réf
8	Éponge chitosane-alginate	Curcumine, Alginate, Chitosane	Interaction ionique et réticulation	Les études in vitro démontré une eau améliorée absorption et biodégradabilité. 40 à 80 % de libération prolongée de curcumine in vitro jusqu'à 20 jours. Les tests de cicatrisation in vivo ont montré une efficacité de cicatrisation supérieure en raison de la contraction rapide de la plaie et du dépôt de collagène.	[33] septembre 2009
9	Transporteurs lipidiques nanostructurés	Curcumine, Monostéarate de glycéryle, Acide stéarique, Triglycéride caprylique/caprique, lécithine de soja	Émulsion méthode d'évaporation-solidification	Capacité significative de perméabilité cutanée par rapport aux formulations standards. Une efficacité anti-inflammatoire significative accélère la régénération cutanée et améliore l'épaisseur de la peau.	[34] Octobre 2016
dix	Pansement polymère	Curcumine, acide oléique, alginate, Chitosane	Interaction ionique et réticulation	Pendant une période prolongée de 10 jours, il y a eu une libération de curcumine supérieure à 40 %. 10 jours après l'application, les plaies témoins, les pansements vides et les plaies traitées à la curcumine se sont contractées à 70 %, 80 % et 94 %.	[35] Octobre 2012
11	Nanoparticules/hydrogel	Curcumine, Polyéthylèneglycol, Alcool polyvinylique, Copolymère PLA–10R5–PLA	méthode d'évaporation du solvant à double émulsion w/o/w	Le comportement de libération du médicament in vitro avec une faible cytotoxicité avec une augmentation du développement du tissu de granulation, du dépôt de collagène et de l'angiogenèse a démontré une bonne efficacité de cicatrisation des plaies in vivo.	[36] Août 2016
12	Nanoparticules de curcumine	Curcumine, Chitosane, Orthosilicate de tétraméthyle, Polyéthylèneglycol 400	À base de sol-gel	La curcumine se libère lentement avec le temps. Dépôt de collagène, développement du tissu de granulation, réépithélisation et régénération tissulaire considérablement améliorés	[37] janvier 2015
13	Émulsion bioadhésive polymère	Extrait de Neem et de curcuma, Shellac, Caséine et Alcool polyvinylique et anhydride maléique	Méthode d'émulsion	Il possède des qualités antibactériennes, est inoffensif et se dégrade naturellement.	[38] décembre 2005

Tableau 1. Suite

S. Non	Pansement Matériaux	Curcumine avec Composition	Méthode de Formulation	Résultats	Réf
14	Film composite de méthoxy poly(éthylène glycol)-greffe- chitosane contenant une nanoformulation de curcumine	Curcumine, poly (ε-caprolactone) -Poly (éthylène glycol) méthyléther copolymère (MPEG-PCL), L'acide linoléique, Chitosane	Méthode de coulée/ évaporation du solvant	8,4% de la curcumine était publié tôt le premier jour et s'est poursuivi tout au long des cinq jours suivants. Lorsque la surface de la plaie était inférieure à 10 % au jour 14, une recherche sur la cicatrisation in vivo a montré une guérison plus rapide. Une réépithélialisation rapide, une synthèse de collagène et une cicatrisation des plaies ont été observées après l'administration.	[39] Mars 2012
15	Hyalurosomes, une nanovésicule et des liposomes	Curcumine, soja Phosphatidyl-choline, hyaluronate de sodium, désintégrateur ultrasonique	Sonication	Les kératinocytes humains in vitro ont été protégés des dommages causés par le stress oxydatif par des matériaux biocompatibles. Par rapport à d'autres groupes, les données in vivo ont démontré une amélioration de l'activité de restauration cutanée en termes de diminution de l'œdème, de l'activité myéloperoxydase et de la réépithélialisation cutanée précoce.	[40] décembre 2015
16	Hyalurosome à noyau de gel (nanovésicule)	Curcumine, Lipoïde1 S100, Tween1 80, Acide hyaluronique	Technique d'hydratation du film	Après deux heures de tests in vitro, 50 % de curcumine a été libérée. Au jour 10, la plaie avait cicatrisé correctement et rapidement, sans cicatrices. Par rapport à d'autres groupes, développement amélioré du tissu de granulation, dépôt de fibres de collagène, réépithélisation et régénération tissulaire. Il est	[41] mai 2015
17	Nanovésicules	Curcumine, Lipoïde1 S75, PEG400, Oramix1	Méthode de sonication	sphérique, multi- ou oligolamellaire, compact et biocompatible. L'application sur la peau lésée par l'activateur tissulaire du plasminogène (TPA) a révélé une diminution de l'inflammation oxydative. Les données histologiques ont montré une réépithélisation significative avec plusieurs couches épidermiques épaisses.	[42] mars 2014

Tableau 1. Suite

S. Non	Pansement Matériaux	Curcumine avec Composition	Méthode de Formulation	Résultats	Réf
18	Nanoparticules de poly (acide lactique-co-glycolique) (PLGA) chargées de curcumine	Curcumine, Poly (acide lactique-glycolique), Alcool polyvinylique	Emulsion huile/eau – technique d'évaporation du solvant	Sur une période de huit jours, il y a eu une libération constante de curcumine, de 40,5 % à 75,7 %. L'angiogenèse et la cicatrisation des plaies ont été améliorées par le lactate produit à partir de PLGA. Des études utilisant l'histologie et la RT-PCR ont montré que la PLGA-curcumine avait plus de potentiel de réépithélialisation, de développement du tissu de granulation et d'effets anti-inflammatoires.	[43] octobre 2013

2. Potentiel de la curcumine dans les troubles cutanés

Les infections cutanées aiguës peuvent être causées par plusieurs micro-organismes, tels que des bactéries, des champignons, des virus et des parasites. *S. aureus* est responsable de nombreuses maladies de peau, notamment la folliculite, l'impétigo, les furoncles et la cellulite. *Propionibacterium acids* et *S. epidermidis* sont tous deux des constituants du microbiote de la peau humaine et jouent tous deux un rôle direct dans la formation de l'acné vulgaire. Les corynébactéries, les propionibactéries et les staphylocoques sont les genres bactériens les plus répandus responsables de cette maladie. Ces bactéries, qui résident habituellement sur la peau sous forme de commensaux et sont essentielles au maintien de l'homéostasie cutanée, peuvent également provoquer des infections cutanées aiguës en tant qu'agents pathogènes opportunistes (44). Les personnes immunocompétentes ne sont pas souvent atteintes d'infections cutanées primaires invasives.

Cependant, à mesure que le nombre de germes résistants à de nombreux médicaments continue d'augmenter, les infections cutanées bactériennes peuvent continuer à être difficiles à traiter. Certaines bactéries staphylococciques ont développé une résistance aux pénicillines résistantes aux bêta-lactamases qui sont à la fois naturelles et semi-synthétiques, c'est-à-dire la méthicilline, la dicloxacilline et l'oxacilline. *Propionibacterium acids* est naturellement résistant aux antibiotiques tels que les sulfamides, les aminoglycosides, la mupirocine et le 5-nitroimidazole tout en étant sensible à de nombreux antibiotiques. La résistance aux antibiotiques de *Propionibacterium acids* a progressivement augmenté au cours de la dernière décennie, devenant une préoccupation mondiale, l'érythromycine et la clindamycine montrant la résistance la plus significative et la résistance à la tétracycline étant moins fréquente, en même temps que le traitement topique des macrolides le plus courant [45-47]. Outre les bactéries, plusieurs espèces fongiques peuvent provoquer des mycoses superficielles. Les dermatophytes sont les agents pathogènes fongiques les plus répandus responsables de maladies cutanées. *Trychophyton rubrum* est devenu le champignon dermatophyte le plus répandu au monde, provoquant principalement le tinea pedis et le tinea unguium (48). Comme les bactéries, les champignons ont résisté aux médicaments antimycosiques traditionnels ces dernières années. De plus, le traitement des infections mycosiques cutanées est souvent compliqué en raison de la rareté et de la toxicité des médicaments antifongiques disponibles. Traiter ces maladies en créant des agents antifongiques innovants capables de cibler des voies cellulaires et moléculaires particulières impliquées dans la pathogénicité fongique est vital (49). Les bactéries *S. aureus* sont sensibles à l'action inhibitrice de la curcumine, selon des études in vitro. De plus, l'efficacité de la curcumine contre le staphylocoque doré résistant à la méthicilline (SARM) a été démontrée seule ou en association avec des médicaments conventionnels [50].

Cette préoccupation devrait limiter l'utilisation à long terme d'antibiotiques topiques et systémiques dans le traitement d'affections cutanées telles que l'acné vulgaire. Des techniques thérapeutiques innovantes sont donc nécessaires pour traiter les maladies infectieuses cutanées. Ces dernières années, les scientifiques ont donné la priorité à la création de produits naturels fabriqués à partir de plantes comme alternative ou complément au traitement conventionnel. En effet, il a été démontré que le bioactif

améliorée. L'efficacité de la curcumine contre les infections cutanées (Figure 1) a également été explorée in vitro [14, 15] et in vivo [16, 17]. Des travaux récents de ces auteurs, des revues de la littérature ont démontré de manière concordante que la curcumine a des effets antimicrobiens et antifongiques. Elle est une option efficace pour traiter les troubles cutanés secondaires aux infections bactériennes et fongiques et peut être une option pour les infections multirésistantes.

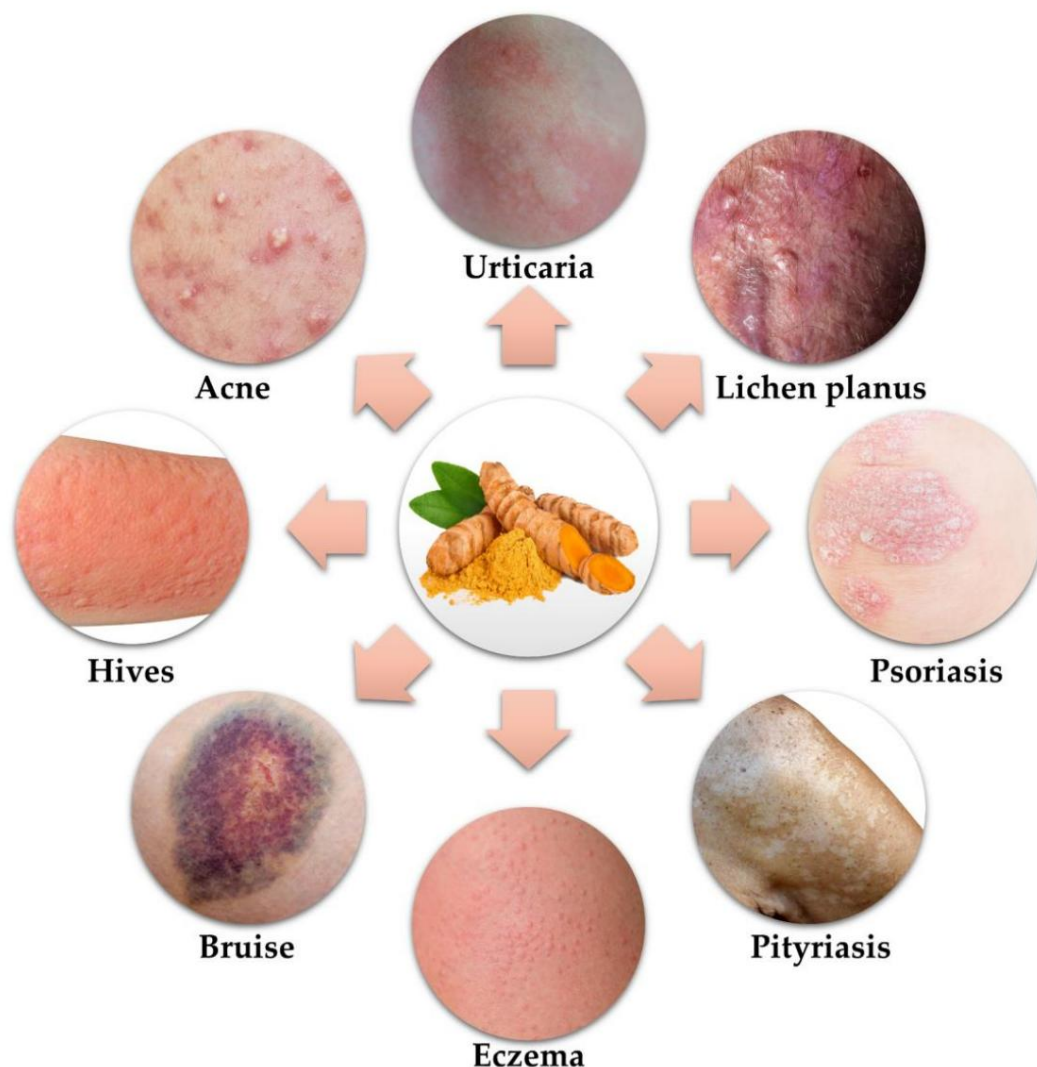


Figure 1. Potentiel d'impact sur l'environnement des troubles mentaux. Les données ont été tirées de la Base de données sur l'environnement et la santé de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), Canada, consultée le 11 septembre 2022.

3. Applications biomédicales de la curcumine

Les puissantes qualités antimicrobiennes, anti-inflammatoires, antioxydantes et autres de la curcumine en font une molécule particulièrement adaptée au traitement des plaies et de nombreuses maladies inflammatoires, troubles, notamment le diabète, l'arthrite, les maladies inflammatoires de l'intestin, l'athérosclérose, les troubles neurologiques et la maladie d'Alzheimer (Tableau 2) [58,59]. Grâce à ses excellentes qualités pharmacologiques, la Curcumine a un avenir prometteur dans les applications biologiques (Figure 2), tels que les troubles cardiovasculaires, les chimiothérapies, les radiosensibilisations, les chimiosensibilisations, et la cicatrisation des plaies, comme le montrent de nombreuses études in vitro et in vivo [60,61]. Les propriétés antioxydantes de la curcumine sont démontrées par sa capacité à protéger les fibroblastes et

les kératinocytes contre les dommages causés par le peroxyde d'hydrogène et pour réduire le stress oxydatif chez les patients atteints d'Alzheimer [62].

Tableau 2. Potentiel de la curcumine pour les applications biomédicales.

S. Non	Maladie cible	Mécanisme d'action	Réf
1	Maladies du foie	La curcumine régule à la baisse l'expression du TGF- β 1 pour améliorer Les niveaux de VE-cadhérine, DDAH1 et Nrf2, et diminuent Niveaux MMP-9 et ERK1/2. Par conséquent, le TGF-b médié EndMT est inhibé pour supprimer la fibrose des cellules endothéliales	[63]
2	Cancer de la peau	Inhibe pAKT, pS6, p-4EBP1, pSTAT3 et pERK1/2 Pénétration cutanée, dépôt et antimélanome améliorés activité de la curcumine	[64]
3	Arthrose	Diminue le score visuel analogique (VAS), CRP, CD4+ et CD8+ Fréquence des lymphocytes T, des lymphocytes Th17	[65]
4	Sclérose en plaques	et des lymphocytes B Améliore l'expression de facteurs anti-inflammatoires tels que L'IL-4, l'IL-5 et le TGF- β constituent une stratégie prometteuse dans de multiples thérapie de la sclérose	[66]
5	Asthme	L'effet inhibiteur sur l'expression et le niveau de TGF- β est critique dans le traitement de l'asthme.	[67]
6	Candidose vulvovaginale	En abaissant le taux d'IL-1 β (un facteur pro-inflammatoire) par rapport au TGF- β (un facteur anti-inflammatoire), La candidose vulvo-vaginale s'améliore, ouvrant la voie à traitement efficace de cette infection.	[68]
7	Cardiomyopathie diabétique	La curcumine régule négativement l'expression du TGF- β 1 via inhibition de la voie de signalisation JAK/STAT, conduisant à réduire l'inflammation et améliorer le diabète cardiomyopathie.	[69]
8	Psoriasis	Inhibe l'activité de la phosphorylase kinase et diminue la densité de lymphocytes T CD8+ épidermiques entraînant une réduction Dommages cellulaires à médiation auto-immune et résolution de psoriasis	[70]
9	Sclérodémie	Inhibe la phosphorylation de smad2 médiée par le TGF- β en régulation positive du facteur induit par le TGF- β (TGIF), qui est un régulateur négatif de la signalisation TGF- β	[71]
dix	Antihypertenseur	Inhibe l'ACE, empêchant ainsi la surexpression du RAAS, la curcumine récupère l'anion superoxyde (O ₂ ⁻) généré dans des conditions diabétiques, empêchant ainsi son réaction avec l'oxyde nitrique (NO), un puissant vasodilatateur, pour former le peroxynitrite oxydant beaucoup plus puissant (ONOO ⁻) ; la curcumine empêche l'inhibition médiée par le cadmium de catéchol-O-méthyltransférase par son effet chélateur qui diminue les niveaux d'adrénaline et de noradrénaline.	[72]
11	Antidiabétique	Diminue le niveau de glucose hépatique, augmente l'absorption du glucose de réguler positivement les expressions des gènes GLUT2, GLUT3 et GLUT4, améliorer la sécrétion d'insuline par les cellules pancréatiques, diminue la résistance à l'insuline.	[73]
12	Ulcère du pied diabétique	Inhibe la croissance des bactéries associées au apparition d'infections du pied chez les patients diabétiques	[74]
14	Alzheimer	Améliore la mémoire grâce à son effet antioxydant qui diminue la dégradation des neurones, des plaques bêta-amyloïdes et formation de microglies	[75]
15	Rectocolite hémorragique	Diminue le TNF- α , l'IL-6	[76]

210



Tableau 2: Potentiel de la curcumine pour les applications biomédicales.

Mécanisme d'action Réf

La curcumine réduit la teneur en l'expression de TGF- β 1 mais n'a pas d'effet sur l'expression de α -SMA dans les cellules saines.

donné 10 000 ou 12 000 mg. Une consommation quotidienne de 12 000 mg est considérée comme sûre chez les personnes en bonne santé.

Inhibe pAK1, pS6, p-4EBP1, pS1A13 et pERK1/2 Amélioration de la pénétration cutanée, des lésions pré-cancéreuses et du risque cardiovasculaire chez les personnes prenant de la curcumine à des doses allant de 164

Diminué également le diabète (EVA), par CRP, les cellules CD4, les CD8, les cellules T et avant 8 000 mg p

lymphocytes B en prenant jusqu'à 6 000 mg par jour de curcumine [81-83].

lymphocytes B en prenant jusqu'à 6 000 mg par jour de curcumine [81-83].

D'autres essais menés auprès de participants en bonne santé et de patients atteints de diverses maladies, notamment de colite ulcéreuse, d'angiocholite et de cancer colorectal avancé, ont montré des complications gastro-intestinales modérées et contrôlables avec une consommation quotidienne allant jusqu'à 8 000 mg de curcumine [14,84-86]. En plus de ces résultats, une petite proportion d'individus atteints de cholangite sclérosante recevant jusqu'à 1 400 mg par jour de curcumine n'ont ressenti que des effets modérés comme des maux de tête ou des nausées [87]. Curieusement, les personnes atteintes d'un cancer du pancréas avancé recevant de la gemcitabine ont également signalé avoir ressenti de graves maux d'estomac après avoir commencé la curcumine à une dose de 8 000 mg par jour (88). Une enquête clinique menée auprès de volontaires sains a révélé que l'administration IV à court terme de curcumine liposomale était sans danger jusqu'à une dose de 120 mg/m. En revanche, une étude d'augmentation de dose chez des patients atteints d'un cancer métastatique a révélé que la quantité tolérable la plus élevée était de 300 mg/m² sur 6 heures [89,90].

Il est important de noter que les chercheurs ont effectué l'essentiel des recherches évaluant le profil d'innocuité de la curcumine sur de brèves périodes. Aucune donnée fiable n'est actuellement disponible concernant les effets d'une utilisation à long terme de ce composé. Bien que les quantités suggérées pour la curcumine en vente libre soient souvent inférieures à celles des recherches cliniques énumérées ci-dessus, les suppléments contenant cette substance sont facilement accessibles au grand public et gagnent en popularité. La curcumine pourrait être nocive pour le foie, comme le montrent de nouveaux cas de troubles hépatiques [91]. La contribution précise de la curcumine à l'émergence de ces maladies n'est pas encore claire et une contamination des suppléments par le plomb a été théorisée. Jusqu'à ce que de plus amples informations soient disponibles, une surveillance est nécessaire, en particulier pour l'utilisation à long terme, les médicaments en vente libre et chez les patients souffrant de troubles hépatiques. Par voie topique, la curcumine peut atténuer ces problèmes associés à une utilisation à long terme, aux médicaments en vente libre et aux patients atteints d'une maladie du foie. Cette limitation nécessiterait la création d'un transporteur approprié pour améliorer la bioactivité de la curcumine.

Tableau 3. Profil de sécurité de la curcumine.

S. Non	Profil de sécurité de la curcumine	Réf
1	La Food and Drug Administration a reconnu la curcumine comme une substance sûre.	[77-79]
2	Une consommation quotidienne de 12 000 mg est considérée comme sûre chez les personnes en bonne santé puisqu'aucun effet indésirable n'a été observé chez les participants.	[13]
3	Les patients en bonne santé recevant jusqu'à 8 000 mg par jour n'avaient pas de curcumine dans leur sérum sanguin. Deux personnes ayant reçu 10 000 ou 12 000 mg présentaient de faibles niveaux.	[13]
4	La curcumine à raison de 500 à 8 000 mg par jour pendant trois mois était sans danger pour les patients présentant des lésions précancéreuses des organes internes et un risque cardiovasculaire.	[80]
5	Les patientes atteintes d'un cancer du pancréas avancé prenant 8 000 mg par jour de curcumine pendant deux mois et les patientes atteintes d'un cancer du sein avancé recevant une radiothérapie tout en prenant jusqu'à 6 000 mg par jour de curcumine ont également montré cette sécurité.	[81-83]
6	Chez les participants en bonne santé et les patients atteints de colite ulcéreuse, d'angiocholite et de cancer colorectal avancé, jusqu'à 8 000 mg de curcumine par jour ont provoqué des complications gastro-intestinales modérées et contrôlables.	[14,84-86]
7	Une infime proportion de patients atteints de cholangite sclérosante recevant jusqu'à 1 400 mg par jour de curcumine ont ressenti des maux de tête ou nausée.	[87]
8	Les personnes atteintes d'un cancer du pancréas avancé prenant de la gemcitabine ont signalé de graves maux d'estomac après avoir commencé à prendre 8 000 mg de curcumine par jour.	[88]
9	L'administration IV à court terme de curcumine liposomale à des volontaires sains était sans danger jusqu'à 120 mg/m.	[89]

5. Les effets de la curcumine sur la cicatrisation des plaies

Il a été démontré que la curcumine guérit les plaies cutanées en réduisant l'oxygène réactif espèces (ROS), qui sont des molécules chimiquement réactives contenant de l'oxygène et le principal cause de l'inflammation, notamment les radicaux lipidiques peroxydes (LOO•), les radicaux superoxydes (O₂•), radicaux dioxyde d'azote (NO₂•) et radicaux hydroxyles (•OH). Ces formules sont associées avec l'apparition d'un stress oxydatif, qui limite le développement et le remodelage du tissu de granulation en tant qu'élément crucial dans la cicatrisation des plaies [92–94]. Thérapie à la curcumine chez la souris diabétique augmente la croissance du tissu de granulation, la néovascularisation et la fabrication de collagène, une protéine de la matrice extracellulaire. De plus, il a été démontré que la curcumine pouvait

Appl. Nano 2022, 3, POUR EXAMEN PAR LES PAIRS

aider à la cicatrisation des plaies chez les souris diabétiques. En raison de sa capacité à augmenter les fibroblastes et les vaisseaux sanguins

densité des plaies tout en éliminant les radicaux libres, il a été largement utilisé pour accélérer la cicatrisation des plaies et réduit les délais de guérison. Ces qualités ont établi

la curcumine comme substance unique pour traiter les plaies diabétiques et les maladies inflammatoires. Les remarquables propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, et antifongiques de la curcumine, comme le montre la (Figure 3), se sont révélées efficaces dans le traitement de la cicatrisation des plaies diabétiques [95–97].

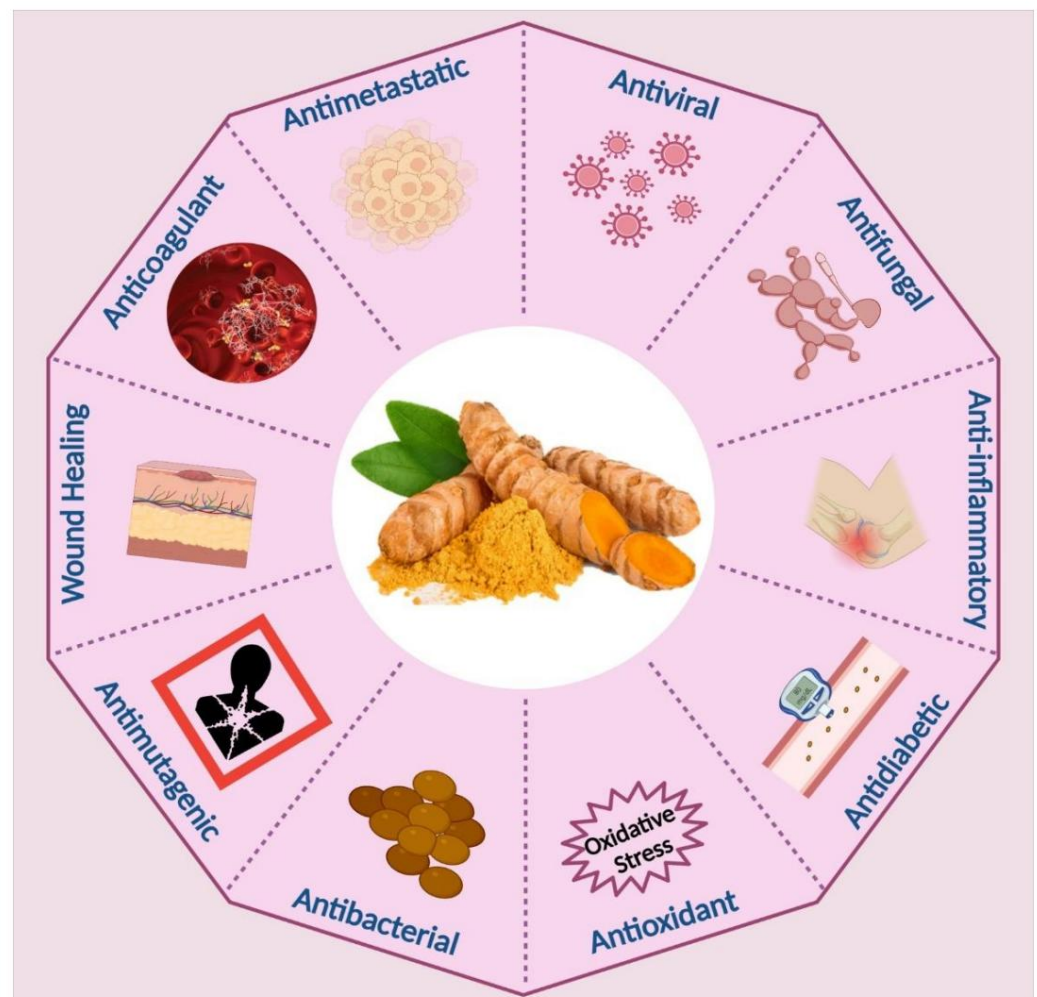


Figure 3. Le potentiel de la curcumine dans la cicatrisation des plaies. Créé avec BioRender.com (11 septembre - octobre 2022).

5.1. Inflammation

5.1. Inflammation

L'inflammation est souvent considérée comme la première phase d'une cicatrisation optimale car elle est considérée comme la première phase de la cicatrisation optimale des plaies, car une inflammation aiguë, la réduction de l'inflammation peut améliorer la cicatrisation des plaies. La curcumine est connue pour ses propriétés anti-inflammatoires, et divers efforts de recherche, y compris des essais cliniques, ont montré qu'elle interagit avec diverses cytokines inflammatoires dans de multiples troubles [99,100]. L'effet le plus significatif de la curcumine dans le contrôle de l'inflammation est la suppression de la génération du facteur de nécrose tumorale (TNF) et de l'interleukine1 (IL1), deux cytokines essentielles qui

ses propriétés anti-inflammatoires et divers efforts de recherche, y compris des essais cliniques, ont montré qu'il interagit avec diverses cytokines inflammatoires dans de multiples troubles [99,100]. L'effet le plus significatif de la curcumine dans le contrôle de l'inflammation est la suppression de la génération du facteur de nécrose tumorale (TNF) et de l'interleukine1 (IL1), deux cytokines essentielles qui régissent les réponses inflammatoires générées par les monocytes et les macrophages (101). La curcumine inhibe également l'amplificateur de chaîne légère du facteur nucléaire kappa des cellules B activées (NFB), un facteur de transcription qui contrôle de nombreux gènes impliqués dans les réponses inflammatoires. La curcumine influence les voies impliquées dans l'activation du NFB via plusieurs kinases. Notamment, l'ONF est également impliqué dans la réponse au stress oxydatif ; ainsi, la curcumine peut influencer le stress oxydatif et l'inflammation [102]. Selon la recherche, la cicatrisation des plaies est améliorée en améliorant la réponse inflammatoire naturelle générée par la curcumine. En réduisant l'inflammation de la peau blessée, la peau endommagée peut s'agrandir et se reconstruire plus rapidement et passer aux étapes ultérieures de guérison [103].

La curcumine contrôle les niveaux de protéine kinase C (PKC), de protéine kinase C-2 (PKC-2) et de protéine kinase activée par un mitogène (MAPK) [104]. En supprimant le facteur de croissance endothélial vasculaire (VEGF), le NF-B et la protéine activatrice-1 (AP-1), il a réduit l'accumulation rapide de produits finaux de glycation avancée (AGE) et la réticulation du collagène dans les tendons de la queue de rats diabétiques [105]. Dans les cellules endothéliales microvasculaires induites par le glucose dans les cœurs de rats diabétiques, la curcumine a diminué à la fois les niveaux d'oxyde nitrique synthase endothélial (eNOS) et d'oxyde nitrique synthase inductible (iNOS) [106,107]. Son activité antioxydante a atténué le dysfonctionnement des cellules endothéliales et l'inhibition de la PKC chez les rats et les souris diabétiques induits par la streptozotocine (STZ) (108). Il a également réduit le dysfonctionnement vasculaire provoqué par le diabète chez les rats STZ en diminuant l'activité de la COX-2, du NF-B et de la PKC (109). En abaissant le TNF et les espèces réactives de l'oxygène (ROS) aortiques et en activant l'hème oxygénase (HO-1) chez les rats diabétiques, la curcumine a amélioré la contractilité vasculaire dérégulée (110).

5.2. Antioxydant

Les ROS sont essentielles aux activités cellulaires et métaboliques, telles que la communication intracellulaire, la différenciation, l'immunité et la mort. Le système immunitaire utilise également des espèces réactives de l'oxygène (ROS) pour se défendre contre les bactéries présentes dans une plaie [111]. Cependant, une exposition prolongée à de grandes quantités de ROS entraîne un stress oxydatif nocif pour les cellules. Le stress oxydatif est un élément crucial dans le processus de cicatrisation des plaies, car il empêche souvent la régénération de la peau. Le stress oxydatif provoque une peroxydation lipidique, une dégradation de l'ADN et une inactivité des enzymes et constitue la principale cause d'inflammation des plaies. Lorsqu'ils sont appliqués localement, les antioxydants peuvent favoriser la cicatrisation des plaies et neutraliser les radicaux libres [112,113]. Les effets antioxydants de la curcumine ont été démontrés en milieu clinique. In vitro, une matrice de collagène incorporée dans la curcumine a montré une action anti-radicalaire contre les radicaux peroxy [114]. Dans une autre enquête, l'application du modèle de rat in vivo à la curcumine a entraîné une diminution considérable des dommages induits par le H₂O₂ sur les fibroblastes et les kératinocytes. Dans des recherches similaires, il a été démontré que la curcumine élimine le H₂O₂ des kératinocytes et des fibroblastes [115].

5.3. Prolifération des fibroblastes

L'infiltration des fibroblastes dans la zone de la plaie est nécessaire pour former le tissu de granulation et la synthèse et le dépôt du collagène [116,117]. Selon les recherches, les plaies cutanées qui ne guérissent pas dans le délai prévu ont réduit la migration et la prolifération des fibroblastes au sein de la plaie [118]. De nombreux efforts de recherche ont été menés pour évaluer la pénétration des fibroblastes dans les plaies traitées à la curcumine ; il a été démontré que quatre jours après l'excision de la lésion, des myofibroblastes étaient observés à l'endroit de la plaie guérie avec le COP. Il est néanmoins essentiel de garder à l'esprit que la capacité de la curcumine à augmenter la pénétration des fibroblastes dans les plaies traitées avec elle n'est possible qu'à des doses mortelles.

La curcumine favorise l'apoptose des modèles de fibroblastes in vitro à des concentrations élevées (25 M), en raison de l'oxydation et de la formation de radicaux libres. Des doses plus faibles (5 et 10 M) n'ont pas affecté la forme des fibroblastes et aucune apoptose n'a été observée dans les fibroblastes traités à la curcumine (119).

5.4. Angiogenèse

L'angiogenèse est une phase critique dans la cicatrisation des plaies ; il est essentiel que l'oxygène et les nutriments soient délivrés aux cellules en formant de nouveaux vaisseaux sanguins à l'emplacement des plaies [120]. L'application topique de la curcumine sur les plaies brûlées chez le rat a considérablement amélioré l'angiogenèse et accéléré la cicatrisation des plaies [121]. La curcumine a stimulé la néovascularisation au niveau de la plaie diabétique directement par l'expression accrue de facteurs angiogéniques tels que VEGF, TGF- β 1 et d'autres facteurs tels que HIF-1 α , SDF-1 α et HO-1, ainsi qu'indirectement, par des anti-inflammatoires, -action inflammatoire et antioxydante [122].

5.5. Formation de tissu de granulation

Le tissu de granulation se distingue par la création de minuscules capillaires, qui se produit en tandem avec une infiltration de fibroblastes (environ 4 jours après la lésion), permettant la génération de MEC [123]. Le tissu de granulation favorise la réépithélialisation en fournissant une base stable pour la migration des cellules épithéliales vers le site de la plaie. Les blessures par excision sur le dos des rats traités avec de la curcumine incorporée dans de l'alginate de chitosane ont formé davantage de tissu de granulation que les plaies traitées uniquement avec une gaze stérile ont rapporté que, par rapport au groupe témoin, l'exposition à la curcumine encapsulée dans une matrice de collagène augmentait la quantité d'hydroxyproline dans les plaies [32, 33]. Lors de la création du tissu granulaire, les fibroblastes se différencient en myofibroblastes et la présence d'hydroxyproline indique l'existence de myofibroblastes.

5.6. Le dépôt de collagène

(ECM) est nécessaire à la réorganisation et au remodelage des plaies. C'est une base de soutien pour les cellules de la zone lésée, contenant diverses protéines et polysaccharides. Cependant, le collagène représente 70 à 80 % de la MEC cutanée [124]. Une partie substantielle du collagène doit être générée et déposée sur la zone blessée pour favoriser la cicatrisation des plaies et la formation de tissu cicatriciel [125]. Dans le groupe traité à la curcumine, le collagène est plus dense et plus aligné. Lorsque les chercheurs couvraient les plaies avec des bandages à base de curcumine, ils contenaient plus de collagène que le groupe témoin ; la suggestion selon laquelle ce groupe produisait du collagène était fortement réticulée [126, 127].

5.7. Apoptose

Pour procéder à la cicatrisation des plaies jusqu'à la phase proliférative, des processus apoptotiques doivent se produire pour détruire les cellules inflammatoires de la zone lésée [128]. Bien que le mécanisme précis de l'apoptose provoquée par la curcumine soit inconnu, il a été proposé que la curcumine pourrait provoquer l'apoptose en raison de sa propension à générer des radicaux libres [129]. Le taux d'apoptose a augmenté le 11^{ème} jour après le traitement des plaies dans le groupe de référence, par opposition aux plaies ayant reçu un traitement à la curcumine. Cette découverte établit que les plaies qui n'ont pas été traitées en sont encore à la première étape de cicatrisation, tandis que les plaies qui ont été traitées avec de la curcumine sont passées à l'étape suivante, appelée prolifération [35].

5.8. Contraction de la plaie

La contraction d'une plaie est l'une des dernières étapes de la cicatrisation. Il nécessite une communication entre les cellules, la matrice extracellulaire et les cytokines. Lorsque les fibroblastes se différencient en myofibroblastes deux semaines après l'intervention chirurgicale, la contraction de la plaie commence. Les myofibroblastes favorisent la contraction de la plaie en augmentant l'expression de l'actine des muscles lisses dans le tissu de granulation [130]. Grâce à la mesure planimétrique des plaies, il a été découvert que l'administration de curcumine sur les plaies accélérerait considérablement la fermeture de la plaie (de 20 %) par rapport au contrôle ; les chercheurs ont découvert que les blessures des rats traités avec des éponges chargées de curcumine guérissaient à un taux de 90 % après 12 jours, contre 74 % dans le groupe témoin. Le TGF est un type de cytokine libérée par de nombreuses cellules, notamment les fibroblastes. Il aide à guérir les blessures et à développer du collagène [131, 132]. Les plaies traitées à la curcumine contenaient plus de TGF que les plaies témoins, ce qui fournissait un nombre plus élevé de fibroblastes [133]. De plus, le doux

Les tissus des plaies de souris diabétiques ont montré une expression accrue du TGF chez les souris traitées à la curcumine.

De plus, les tissus mous des plaies de souris diabétiques ont montré une expression accrue du TGF dans le groupe traité à la curcumine (134).

5.9. Réépithélialisation et remodelage

5.9.1. Réépithélialisation et remodelage de la peau et constitue une barrière protectrice contre les agressions physiques, pénétration de micro-organismes et de produits chimiques. Le processus par lequel les kératinocytes du derme se multiplient et se déplacent pour former une barrière solide. Par rapport au groupe témoin, les plaies traitées à la curcumine ont été épithélialisées et la période d'épithélialisation a été réduite de 23 à 11 jours (126). La curcumine présente de multiples activités biologiques dans le traitement de divers aspects des complications des plaies diabétiques (Figure 4).

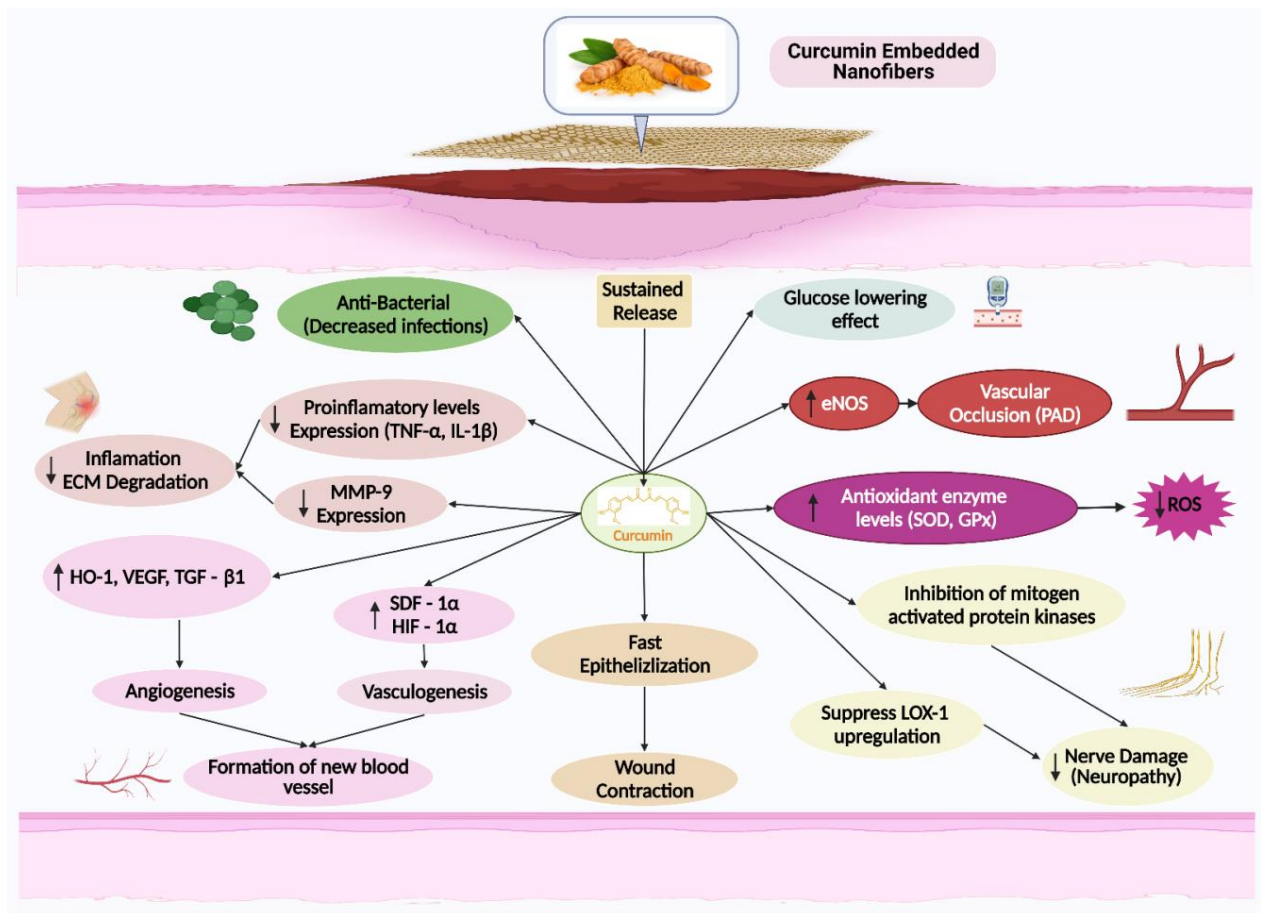


Figure 4. Mécanisme d'action de la curcumine dans le traitement des plaies diabétiques (↑ : augmentations, ↓ : diminutions). Créé avec BioRender.com (consulté le 30 septembre 2022).

6. Nanofibres

Au combat, divers problèmes liés au diabète sucré et diverses stratégies d'administration nanométriques ont été étudiées (Tableau 4) [136, 137]. En conséquence, les nanofibres basées sur des systèmes synthétiques ont montré un potentiel incroyable en tant que mécanismes de livraison et des échafaudages pour la livraison de médicaments. Les nanofibres peuvent constituer une matrice suffisante pour encapsuler et incorporer des composés thérapeutiques dans un système d'administration à haute efficacité et incorporer des composés thérapeutiques dans un système d'administration ou un réservoir à haute efficacité système ou réservoir avec des effets secondaires minimes [138–140]. Ils peuvent également prévenir la dégradation avec des effets secondaires minimes [138–140]. Ils peuvent également empêcher la dégradation avant traitement thérapeutique les molécules atteignent leurs zones cibles. De telles structures peuvent transmettre leur contenu, avoir un haut capacité de chargement de médicaments, sont très efficaces pour encapsuler et peuvent produire une variété de morphologies [141–143].

Différentes techniques sont utilisées pour incorporer des agents thérapeutiques dans les fibres, comme mélanger l'agent avec la solution de polymère avant de filer, filer coaxial pour créer structures noyau/coque, fixation des agents actifs à la surface des fibres, surface post-fabrication modification et greffage de surface. Les chercheurs peuvent utiliser ces techniques pour réaliser en temps opportun libération de substances thérapeutiques et un contrôle plus précis de la cinétique de libération, en plus de soutenir les processus essentiels des cellules, et des échafaudages artificiels peuvent être utilisés pour construire Fibres 3D qui ressemblent beaucoup à la matrice extracellulaire naturelle [144,145]. Un énorme surface pour l'interaction/l'adhésion cellule-échafaudage et l'échange efficace pour l'oxygène et l'apport de nutriments peut être assuré par des échafaudages de nanofibres présentant une ressemblance architecturale à l'ECM natif. Les nanofibres peuvent être combinées avec des protéines ECM, des facteurs de croissance et nanomatériaux pour l'implantation et la transplantation par ingénierie tissulaire afin de faciliter la développement de structures ressemblant à des tissus (146).

Les matériaux en nanofibres ont été largement utilisés dans diverses applications médicales, comme illustré dans la (Figure 5) [147-149]. Créer des structures de nanofibres pour le traitement des ulcères du pied diabétiques, plusieurs matériaux naturels et polymères synthétiques ont été utilisés. En général, les polymères synthétiques peuvent être électrofilés beaucoup plus efficacement et ont une résistance mécanique et excellente flexibilité, mais les polymères naturels ont démontré une biocompatibilité améliorée, une bonne biodégradation et immunogénicité très réduite. Utiliser une technique de combinaison est conseillé afin de tirer le meilleur parti de ces matériaux. Ces dernières années ont vu un augmentation significative des systèmes à base de nanofibres pour le traitement des plaies chroniques. L'un des caractéristiques les plus remarquables des structures à base de nanofibres pour le traitement du pied diabétique les ulcères sont la délivrance de biomacromolécules, de facteurs de croissance et de petits ARN interférents, ainsi que des agents pharmacologiques antidiabétiques [25, 150–153]. Dans le cas d'un plasma inférieur En fonction des niveaux de glucose, l'insuline peut être mélangée ou recouverte de patches de nanofibres et appliquée par voie cutanée, topique ou par d'autres moyens, par exemple par voie sublinguale. Par exemple, les pansements contenant PAR LES PEERS, l'insuline peut encourager le développement d'une matrice de plaie [154].

Appl. Nano 2022, 3, 1508 EXAMEN

15

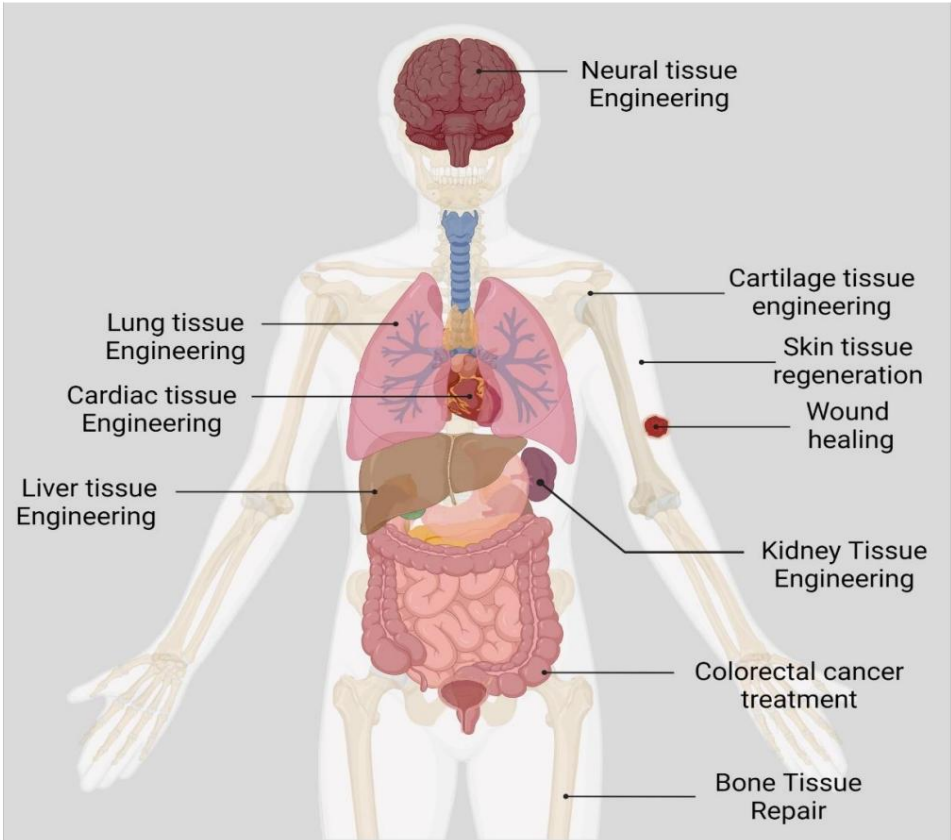


Figure 5. Applications biomédicales des nanofibres Electrospun. Créé avec BioRender.com (ac- Figure 5. Applications biomédicales des nanofibres électrofilées. Créé avec BioRender.com (consulté le 11 septembre 2022). arrêté le 11 septembre 2022).

Tableau 4. Les avantages et inconvénients des différents types de nanoporteurs.

S. Pas de nanoporteur	Avantages •	Désavantages	Réf
	Non adhérent, non toxique, non allergène, • Permet les échanges gazeux		

Tableau 4. Les avantages et inconvénients des différents types de nanoporteurs.

S. Pas de nanoporteur	Avantages	Désavantages	Réf
1	Fibres • Non adhérent, non toxique, non allergène, • Permet les échanges gazeux • Élimine l'excès d'exsudats • Barrière contre les microbes • Maintenir la libération • Maintenir l'humidité • Résistance à la traction • Biodisponibilité accrue • Fixation et prolifération des fibroblastes • Fixation et prolifération des kératinocytes • Porosité réglable • Imitation ECM • Biocompatibilité • Propriétés électrocatalytiques • Conductivité thermique • Conductivité électrique • Stabilité structurelle • Efficacité de chargement • Rapport surface/volume élevé • Force mécanique	• Inadapté au troisième degré, escarre et plaies sèches ; si la blessure est fortement exsudatif, un secondaire il faut s'habiller	[155]
2	Polymère nanoparticules • Biocompatible • Faible toxicité • Biodégradable • Rentable • Fonctionnalisation de surface possible • Évite les fuites du médicament	• Difficile de passer à l'échelle	[156]
3	Liposomes • Capacité à transporter des produits hydrophiles ou médicaments hydrophobes • Biocompatible • Biodégradable • Écure • Possibilité de fonctionnalisation de surface	• Toxique, car le médicament peut fuir ou être déplacé dans la circulation sanguine • Coût de production élevé	[157]
4	Films • Imperméable aux bactéries • Permet au processus de guérison d'être surveillé • Retrait indolore	• Difficile à gérer • Non absorbant • Adhérer au lit de la plaie et provoquer un exsudat accumulation	[158]
5	Éponges • Haute porosité • Isolation thermique • Maintenir un environnement humide • Absorber les exsudats de la plaie • Améliore la régénération des tissus	• Mécaniquement faible • Peut provoquer des irritations cutanées macération • Ne convient pas au troisième degré traitement des brûlures ou des plaies avec escarre sèche	[159]
6	Hydrogels • Propriétés d'absorption élevées • Fournir un environnement humide au site de la plaie • Rétention d'eau • Perméabilité à l'oxygène • Assurer la solubilité de la croissance facteur/agents antimicrobiens	• Mécanique faible propriétés • Besoin d'un pansement secondaire	[160]

Tableau 4. Suite

S. Pas de nanoporteur	Avantages	Désavantages	Réf
7 Hydrocolloïdes	• Non adhérent • Haute densité • Retrait indolore • Propriétés d'absorption élevées	• Peut être cytotoxique • Avoir une odeur désagréable • Faible stabilité mécanique • Maintenir un pH acide au site de la plaie	[161]

7. Nanofibres électrofilées incorporées à la curcumine pour la cicatrisation des plaies

Merrell et coll. développé des échafaudages nanofibreux de polycaprolactone (PCL) incorporés avec de la curcumine pour traiter les plaies diabétiques. Avantages des polymères approuvés par la FDA pour la peau l'ingénierie tissulaire est présentée dans le tableau 5. La quantité de PCL utilisée dans la nanofibre Le processus de préparation a eu un impact sur la façon dont les billes se sont développées le long des nanofibres. Nanofibreux des échafaudages d'un diamètre moyen compris entre 300 et 400 nm ont été produits en utilisant le technique d'électrofilage incorporant 15 % (p/v) de PCL. Les caractéristiques de libération de médicament in vitro de la curcumine à partir des nanofibres ont été maintenues pendant 3 jours sous conditions physiologiques. circonstances et pourrait être conçu pour transporter une quantité considérablement inférieure à la a rapporté une concentration cytotoxique tout en étant toujours efficace sur le plan thérapeutique. L'humain Des expériences de cytotoxicité in vitro sur des cellules de fibroblastes du prépuce (HFF-1) ont montré une viabilité cellulaire de plus de 70 %, soutenant l'idée selon laquelle les échafaudages de nanofibres PCL chargés de curcumine ne sont pas cytotoxique. Contrairement au PCL ordinaire, qui n'a montré qu'un taux de fermeture de la plaie de 60 % in vivo expérience de cicatrisation des plaies, les échafaudages nanofibreux chargés de curcumine ont démontré un fermeture accélérée de 80 % des plaies chez les rats diabétiques induits par STZ [27]. (Tableau 6) montre l'effet des diamètres de nanofibres chargées de curcumine et des profils de libération sur l'électrofilage paramètres et combinaisons polymère/solvant.

Tableau 5. Liste des polymères approuvés par la FDA utilisés dans la formation de nanofibres électrofilées.

S. Non	Polymères	Avantages
1	PCL	• Approuvé par la FDA • Biocompatible, biodégradable • Stabilité mécanique • Soluble dans la plupart des solvants organiques • Bonnes propriétés d'électrofilage
2	PLA	• Approuvé par la FDA • Bonne biocompatibilité • Biodégradabilité, Biorésorbabilité • Bonne aptitude au traitement • Bonne ductilité
3	Acétate de cellulose	• Approuvé par la FDA • Biocompatible, biodégradable • Stabilité mécanique • Rentabilité • Nature hydrophile • Pureté
4	CHEVILLE	• Approuvé par la FDA • Contrôle raisonnable des propriétés structurelles et de composition

Tableau 5. Suite

S. Non	Polymères	Avantages
5	PHBV	• Approuvé par la FDA • Biocompatible, biodégradable • Perméable à l'oxygène
6	Polyuréthane	• Approuvé par la FDA • Bonne résistance mécanique • Crée un environnement humide • Couverture adaptée aux brûlures
7	JcJ	• Approuvé par la FDA • Nature hydrophile • Soluble dans l'eau/la plupart des solvants organiques • Faible toxicité • Excellente biocompatibilité
8	PVA	• Approuvé par la FDA • Haute solubilité • Biodégradabilité • Coût relativement bas • Durabilité longue durée • Stabilité à haute température
9	SF	• Approuvé par la FDA • Biocompatibilité • Taux de transmission de la vapeur d'eau • Capacité de rétention d'eau • Élasticité

Ramalingam et coll. développé du poly(2-hydroxyéthyle) Electrospun chargé de curcumine méthacrylate)p(HEMA) tapis nanofibreux. Le profil de libération de médicaments in vitro des tapis nanofibreux incrustés de curcumine a révélé une libération régulée et contrôlée de curcumine, prouvant efficace contre les infections microbiennes des plaies. Tapis nanofibreux chargés de curcumine inhibés la croissance du SARM et des BLSE in vitro [162].

Nguyen et coll. développé des échafaudages de nanofibres poly (acide lactique) (PLA) infusés de curcumine pour le traitement des plaies. L'encapsulation de la curcumine à l'intérieur d'échafaudages de nanofibres a entraîné une amélioration considérable de la résistance à la traction allant jusqu'à 3,5 MPa, ce qui les rend acceptable pour le pansement des plaies. Études de cicatrisation in vivo sur des rats et des dorsales les plaies indiquaient 87 % et 99 % de fermeture des plaies aux jours 7 et 15, respectivement [163].

Ravikumar et coll. généré des phtalates d'acétate de cellulose (CA) chargés de curcumine. Échafaudages nanofibreux électrofilés. Entre 1 et 12 h, les nanofibres chargées en curcumine et les nanofibres sans curcumine présentaient une capacité de gonflement de 400 %, déterminée par le analyse du gonflement. L' enquête de diffusion in vitro a révélé un effet retardé et prolongé libération de la curcumine, un agent cicatrisant [164].

Ranjbar-Mohammadi et al. créé des nanofibres électrofilées de PCL et de gomme adragante incorporé à la curcumine. Le fait que les échafaudages nanofibreux intégrés à la curcumine étaient efficaces à 99,9 % et 85,14 % contre le SARM et les bêta-lactamases à spectre étendu (BLSE), respectivement, démontre leur utilisation dans le traitement des plaies infectées par des bactéries. Des études de cicatrisation in vivo chez des rats Sprague Dawley diabétiques blessés ont été révélées que les régions de la plaie cicatrisées étaient recouvertes d'échafaudages nanofibreux incrustés de curcumine sur jour 15 par rapport au groupe témoin, dans lequel la surface de la plaie a diminué de 20,96 % [165].

Ranjbar-Mohammadi et al. développé des échafaudages nanofibreux incrustés de curcumine avec des caractéristiques biologiques exceptionnelles. Les échafaudages nanofibreux étaient exempts de billes, et l'ajout de curcumine a créé une surface hydrophile pour l'adhésion et la croissance cellulaire. De plus, la résistance à la traction des nanofibres a été multipliée par deux à trois,

améliorant leurs qualités mécaniques. La curcumine a également amélioré la stabilité des nanofibres. Pendant 15 jours, les nanofibres ont stimulé une croissance et une prolifération cellulaires considérables tout en préservant la forme cellulaire. La libération in vitro de curcumine par les nanofibres a été maintenue (166).

Ghaee et coll. créé des échafaudages nanofibreux à base de PCL incorporés à la curcumine et intégrés à la gélatine et au chitosane. La porosité des nanofibres variait entre 90,43 % et 71,48 %, et leur taille de pores était comprise entre 101 et 256 μm , ce qui les rendait appropriées pour la régénération des tissus cutanés. Les échafaudages nanofibreux étaient cytocompatibles avec les cellules L929 et renforçaient l'adhésion cellulaire (167).

Moradkhannejhad et al. créé des tapis nanofibreux PLA/PEG avec de la curcumine infusée avec une forme de nanostructure poreuse adaptée aux échanges gazeux. Le diamètre moyen des fibres a augmenté de 430 à 750 nm lorsque la concentration de PEG1500 a augmenté de 0 à 20 % en poids. Une libération régulée de curcumine a été observée dans les nanofibres (168).

Mutlu et coll. développé du poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalérate) chargé de curcumine (PHBV) tapis nanofibreux. En fonction de la quantité de curcumine présente, le diamètre moyen des fibres des tapis nanofibreux variait de 207 à 519 nm. Les résistances élastiques et à la traction des modules étaient respectivement de 5,80 MPa et 6,10 Mpa. Suite à l'introduction de la curcumine, le taux de gonflement des nanofibres est passé de 50 % à 320 %. Il soutenait l'adhésion et la prolifération cellulaires in vitro et était biocompatible avec les fibroblastes murins L929 (169).

Bui et coll. créé des tapis nanofibreux PCL-PEG encapsulant la curcumine. Les tapis nanofibreux fabriqués avaient une surface poreuse, essentielle à la croissance cellulaire. Par rapport aux nanofibres ordinaires, les nanofibres incorporant de la curcumine ont mieux inhibé la croissance de *S. aureus*. Au jour 10, les nanofibres chargées de curcumine ont accéléré la cicatrisation des plaies de 99 % par rapport aux tapis nanofibreux PCL-PEG ordinaires, qui ont accéléré la fermeture de la plaie de 59 % [170].

Mohammadi et coll. créé un échafaudage nanofibreux PCL-PEG encapsulant la chrysine-curcumine. Des investigations in vivo sur des rats mâles blessés ont révélé que le processus de cicatrisation était dépendant de la dose et avait un impact considérable sur la phase inflammatoire par rapport aux autres phases de cicatrisation. Après 10 jours in vivo, on a observé une augmentation de l'expression du gène IL-6, qui joue un rôle crucial dans l'inflammation. iNOS était régulée négativement et l'expression de MMP-2 était diminuée (171).

Perumal et coll. créé un échafaudage nanofibreux de polyglycérol hyperramifié PLA chargé de curcumine. La fibre avait un diamètre de 601 nm et l'encapsulation de la curcumine dans les échafaudages de nanofibres a provoqué une augmentation du diamètre moyen des nanofibres. Par rapport aux nanofibres PLA seules, la nature hydrophile des nanofibres a amélioré la libération régulée du médicament, la prolifération cellulaire et l'adhérence. En 24 heures, le taux de gonflement des nanofibres a augmenté jusqu'à 108 %. Un modèle de libération régulée a suivi une libération rapide en rafale dans le profil de libération du médicament in vitro dans des conditions physiologiques. Des cellules de fibroblastes Swiss 3T3 ont été utilisées pour l'étude de viabilité cellulaire in vitro. Les nanofibres chargées en curcumine ont montré une vitalité cellulaire considérablement accrue de 109 % par rapport aux 96 % du contrôle et aux 100 % des nanofibres simples. Comparé aux nanofibres de PLA chargées de curcumine, l'échafaudage nanofibreux de polyglycérol hyperramifié PLA infusé de curcumine a montré une fermeture de la plaie à 100 % après 36 h d'utilisation (172).

Ramaswamy et coll. créé des nanofibres électrofilées PCL-PEG incorporées à la tétrahydro curcumine. En raison de leur énorme surface, ces tapis de nanofibres présentaient une efficacité de chargement élevée, avec une encapsulation de 95 % de la curcumine dans les nanofibres. La capacité de gonflement des tapis de nanofibres incorporés à la curcumine était de 205 % et de 215 % pour les nanofibres vierges, ce qui indique une réduction de la capacité de gonflement suite à l'ajout de curcumine. In vitro, les nanofibres ont maintenu les profils de libération de médicaments à partir des tapis de nanofibres (173).

Shababdoust et al. créé la libération régulée de curcumine, une nanofibre de polyuréthane segmentée à bloc amphiphile. Le diamètre moyen variait entre 651 nm et 663 nm, tandis que la porosité variait entre $80,1 \pm 0,5$ % et $91,6 \pm 0,4$ %. La quantité de curcumine chargée influençait le diamètre et la porosité des nanofibres. L'activité antibactérienne intense des nanofibres contre *E. coli* et *S. aureus* a été démontrée par des études in vitro.

tests antibactériens. Les cellules de fibroblastes L929 traitées avec les nanofibres incorporées à la curcumine ont montré une vitalité cellulaire allant de 89 % à 92 %, démontrant leur cytocompatibilité pour la zone de la plaie. La température, le pH et la pression ont tous eu un impact sur le profil de libération in vitro de la curcumine à partir des tapis de nanofibres (174).

Fu et coll. développé des nanofibres PCL-PEG chargées de curcumine pour la gestion de la cicatrisation cutanée. Leurs tailles variaient de quelques centaines de nanomètres à quelques microns. L'échafaudage nanofibreux a démontré une bonne viabilité cellulaire lorsqu'il est cultivé avec des cellules de fibroblastes de rat, indiquant une toxicité minime. La curcumine a une caractéristique de libération rapide, suivie d'un profil de libération persistante du médicament in vitro. Les tapis de nanofibres chargés de curcumine ont montré un taux de fermeture de plaie considérable de 93,3 % au jour 21, contre 80,4 % et 76,9 % pour les tapis de nanofibres ordinaires et témoins, respectivement (175).

Lian et coll. créé des échafaudages nanofibreux à base de fibroïne de soie (SF) et de PLA-PCL incorporés à la curcumine. Suite à l'ajout de curcumine, le diamètre moyen des nanofibres, initialement de 461 ± 215 nm, a ensuite diminué à 293 ± 110 nm avec un allongement moyen à la rupture de $117,4 \pm 4,1,35$ % et une résistance à la traction de $5,27 \pm 0,34$ MPa. Une première explosion de curcumine provenant des échafaudages pendant 12 heures a été observée dans les études in vitro sur la libération du médicament, suivie d'une libération continue au cours des 72 heures suivantes. Le test d'élimination des radicaux libres DPPH a été utilisé dans des expériences antioxydantes in vitro sur des échafaudages de nanofibres incorporés à la curcumine, et les résultats ont confirmé l'excellente activité antioxydante des échafaudages. L'efficacité de récupération a augmenté progressivement avec l'augmentation des concentrations de curcumine, allant de 2,0 % à 6,0 % (p/p). Comparés aux nanofibres simples, qui présentaient une inhibition de la croissance de 15,8 % contre *S. aureus*, les échafaudages de nanofibres infusées de curcumine présentaient une inhibition de croissance élevée de $99,7 \pm 0,85$ % (176).

Tsekova et al. a développé des matériaux fibreux Electrospun à base d'acétate de cellulose et de polyvinylpyrrolidone (PVP) incrustés de curcumine pour les plaies affectées par des bactéries. Les chercheurs ont ajouté la curcumine à l'acétate de cellulose et au PVP, et l'étude de viscosité a révélé une viscosité significativement plus élevée de 142 cP en raison de la liaison hydrogène entre les polymères et la curcumine. Les tapis de nanofibres incrustés de curcumine présentaient un angle de contact avec l'eau de $121,8 \pm 3,4$ degrés. L'investigation microbiologique in vitro de matériaux nanofibreux chargés de curcumine a montré une puissante activité antimicrobienne contre *S. aureus*, indiquant que ces échafaudages aident à traiter les plaies infectées par des bactéries (177).

Celebioglu et coll. créé des échafaudages nanofibreux à base d'hydroxypropyl- γ -cyclodextrine et d'hydroxypropyl- β -cyclodextrine incorporés à la curcumine. Les échafaudages nanofibreux avaient une structure fibreuse homogène sans billes. Les échafaudages nanofibreux avaient en moyenne un diamètre de 165 ± 65 nm. Dans les échafaudages nanofibreux, l'efficacité d'encapsulation de la curcumine (%) était respectivement de $98,8 \pm 1,6$ % et $99,3 \pm 1,0$ %. Lorsque le matériau nanofibreux chargé de curcumine a été soumis à une étude antioxydante utilisant le test de piégeage DPPH, les bandes d'hydroxypropyl- γ -cyclodextrine chargées de curcumine ont démontré une efficacité antioxydante significativement plus élevée de 100 % par rapport à l'hydroxypropyl- β -cyclodextrine. Les bandes nanofibreuses d'hydroxypropyl- γ -cyclodextrine recouvertes de curcumine sont prometteuses en tant que pansements pour plaies (178).

Saeed et coll. créé un échafaudage de nanofibres à trois couches PCL et PVA Electrospun chargé de curcumine. Les tests de transmission de vapeur d'eau et d'angle de contact avec l'eau ont montré que les tapis nanofibreux à trois couches avaient un taux de transmission de vapeur d'eau plus élevé que le tapis monocouche en raison du caractère hydrophile des couches d'alcool polyvinylique (PVA) (témoin). Après deux jours d'incubation, l'évaluation antimicrobienne des nanofibres multicouches Electrospun a révélé un pourcentage d'inhibition plus significatif contre *E. coli* et *S. aureus*. Les tapis nanofibreux à trois couches chargés de curcumine ont des applications potentielles dans la cicatrisation des plaies (179).

Esmaeili et al. développé des nanofibres de polyuréthane (PU) et de cellulose pour traiter les plaies co-piégées avec de la curcumine, des nanocomposites d'argent et de l'oxyde de graphène. Comparées aux tapis nanofibreux chargés de médicaments, les nanofibres co-chargées ont montré une activité antibactérienne solide et synergique contre les bactéries *Pseudomonas* et *S. aureus*. Des nanofibres à double charge de médicament ont été utilisées dans des tests de fermeture de plaies in vivo. Les résultats ont montré une différence significative

taux accéléré de cicatrisation des plaies, avec 100 % contre 78 % pour les nanofibres simples, 90 % pour les nanofibres incorporées dans GO et 93 % pour les nanofibres incorporées dans de l'Ag [180].

Pankongadisak et al. a créé un échafaudage nanofibreux en PLA incorporé à la curcumine. Selon l'examen TEM, l'incorporation de curcumine dans la structure fibreuse a provoqué une diminution du diamètre moyen de la structure ordinaire de 386 ± 121 nm à un diamètre compris entre 333 ± 124 et 380 ± 113 nm. L'examen des propriétés mécaniques a montré que l'échafaudage fibreux encapsulé dans la curcumine avait une résistance à la traction de 2 à 3 MPa, un module d'Young de 57 à 111 MPa et un allongement à la rupture de 40 à 49 %. La curcumine a été libérée pour la première fois de la structure fibreuse de manière contrôlée après une heure, selon les conditions physiologiques du profil de libération du médicament in vitro. L'évaluation des antioxydants à l'aide du test DPPH a révélé des effets antioxydants qui variaient entre 42,50 % et 52,96 % pour les échafaudages fibreux incorporés à la curcumine, indiquant leur excellent impact antioxydant sur la gestion des plaies (181).

Mahmoud et coll. a développé des pansements antimicrobiens composés de nattes de fibres Electrospun infusées de curcumine. Les tapis nanofibreux contrôlent la libération de médicament à base de curcumine en fonction de la température. L'examen du potentiel de gonflement des tapis a révélé un taux d'expansion de 332 %. Après six heures d'incubation, les tests antibactériens contre les bactéries *E. coli* et *S. aureus* ont démontré une diminution de 100 pour cent [182].

Suwantong et coll. La formulation d'un échafaudage de nanofibres d'acétate de cellulose intégré à la curcumine a démontré une activité antioxydante allant de 64 à 92 % et une viabilité cellulaire de 97 % sur les fibroblastes dermiques humains (HDF), démontrant une cytocompatibilité exceptionnelle de l'échafaudage de nanofibres incorporées à la curcumine (183).

Liu et coll. créé des tapis nanofibreux PEG-SF infusés de curcumine. La libération du composé de curcumine était constante pendant 350 heures et la libération du médicament s'améliorait à mesure que le diamètre des fibres diminuait (184).

Zahiri et coll. développé un échafaudage nanofibreux de PCL et de gélatine incorporé à des nanoparticules de chitosane infusées de curcumine. Lorsque des nanoparticules de curcumine ont été ajoutées, la haute résistance à la traction des échafaudages nanofibreux simples de $3,78 \pm 0,17$ MPa est tombée à $1,84 \pm 0,12$ MPa. Les études sur l'angle de contact avec l'eau des échafaudages nanofibreux chargés de curcumine ont révélé qu'ils étaient hydrophiles, avec un angle de contact de $48,9 \pm 5,4$. Une fois comparées aux échafaudages ordinaires et aux échafaudages contenant de la curcumine, les nanofibres présentaient un faible taux de détérioration. Les nanofibres ont montré des niveaux élevés de fermeture des plaies lors d'enquêtes de cicatrisation in vivo à l'aide d'un échafaudage PCL-gélatine recouvert de nanoparticules de chitosane infusées de curcumine. Au jour 14, 82 % des plaies ont été fermées à l'aide de la matrice infusée de curcumine, mais seulement 73,4 % ont été fermées à l'aide de la matrice nanofibreuse ordinaire (185).

Jonathan G. Merrell a étudié la faisabilité et le potentiel des nanofibres PCL comme véhicule d'administration de curcumine dans les applications de cicatrisation des plaies diabétiques. L'activité antioxydante des nanofibres chargées en curcumine a été démontrée à l'aide d'un test de capacité d'absorption des radicaux oxygène et par la capacité des nanofibres à maintenir la viabilité des cellules HFF-1 dans des conditions de stress oxydatif. Les nanofibres ont également réduit l'induction inflammatoire, comme en témoignent les faibles niveaux de libération d'interleukine-6 par les monocytes-macrophages de souris ensemencés sur les nanofibres après stimulation par le lipopolysaccharide dérivé d'*E. coli*.

Dans un modèle de souris diabétique induit par la streptozotocine, un taux accru de fermeture des plaies a démontré la capacité de cicatrisation in vivo des nanofibres (27).

Han Tsung Liao et coll. rapporté qu'in vitro, le PLGA/curcumine offre des avantages supplémentaires, tels qu'une capacité de migration accrue et une protection induite contre le stress oxydatif dans les cellules fibroblastiques HS68. Une étude in vivo a indiqué que les nanofibres PLGA/curcumine présentent le taux de fermeture de plaie le plus rapide avec une réépithélialisation accélérée, une angiogenèse plus élevée et un dépôt de collagène plus élevé au site de la plaie (186).

Les plaies traitées avec des nanofibres de curcumine infusées de gélatine se sont rétablies plus rapidement et présentaient des niveaux plus élevés d'expression du facteur de croissance transformant bêta (TGF- β) dans les tests de transfert Western. Les niveaux réduits de marqueurs pro-inflammatoires, l'interleukine-6 (IL-6) et le facteur de nécrose tumorale (TNF- α), ont fourni la preuve des effets anti-inflammatoires du traitement aux nanofibres. Les plaies chroniques traitées avec des nanofibres à base de curcumine ont obtenu de meilleures performances, avec une augmentation de 58 ± 7 % du taux de guérison au septième jour. Grâce à leurs propriétés anti-inflammatoires

et leurs effets cicatrisants, les échafaudages nanofibreux peuvent être des matériaux potentiels pour les maladies chroniques. traitement des plaies [187].

Les membranes de PCL et de gélatine chargées de curcumine augmentent la teneur en collagène chez les diabétiques plaies et ont été des promoteurs efficaces de la cicatrisation des plaies dans les premiers stades, ainsi que accélérant le processus de guérison. L'effet observé pourrait être attribué à l'effet des échafaudages. structure nanofibreuse, qui imite l'ECM naturelle, les propriétés biologiques élevées de la gélatine, la libération prolongée de curcumine pendant 20 jours et les propriétés physico-mécaniques élevées de PCL, qui assurent la stabilité de l'échafaudage en présence de sang et de fibrine. Histochimique les résultats ont montré de bien meilleures performances de guérison pour les cellules souches d'échafaudage suivies par les échafaudages acellulaires par rapport aux échantillons témoins en raison de la capacité des cellules souches à se régénérer. collagène et fournissent les signaux nécessaires à la construction des tissus. Les nanofibres ont diminué le sang niveaux de glucose par rapport aux échantillons témoins. En conclusion, l'application des échafaudages s'est avéré efficace dans la cicatrisation des plaies chez les modèles de rats diabétiques (165).

Tableau 6. Effet des diamètres de nanofibres chargées de curcumine et des profils de libération de médicaments sur les paramètres d'électrofilage et les combinaisons polymère/solvant.

S. Non	Curcumine et Additifs	Solvants	Dosage	Réglage de l'électrofilage			Diamètre (nm)	Profil de libération du médicament	Réf
				kV	cm	mL/h			
1	PCL	CHCl3 : Méthanol	3 et 17% p/p	25	dix	2	300-400	3 % – 20 µg à 3 jours 17 % – 35 µg à 3 jours	[27] décembre 2009
2	p(HEMA)	Éthanol : H2O	3 et 5 % en poids	25	17	0,5	20-110	63% à 120h 72% à 240h	[162] janvier 2015
3	PLA	CHCl3 : DMAc	0,125, 1,250, 6.250% en poids	11	12	1	300-1200	–	[163] Juin 2013
4	Callosia	API : EA	5, 10, 15, 17,5, 20 % en poids	12	15	1,5	300	309,02 µg/cm2 à 24 h	[164] septembre 2017
5	PCL/GT	Acétique acide	1, 3, 8, 24%	15	15	1	667 ± 33	42,6% à 10 jours 65% à 20 jours	[166] Mars 2016
6	PCL	Acide acétique; Acide formique	0.5% en poids	11	dix	0,4	499	80% à 2h	[167] novembre 2019
7	PLA	CHCl3 : Acétone	10% en poids	20	15	0,5	430-750	9 µg/cm2 à 24 h	[168] avril 2020
8	PHBV	CHCl3 : DMF	0,1, 0,3 0,5% avec/v	17	20	0,01	207-519	45 %, 63 %, 78 % à 200 min	[169] Février 2018
9	PCL	DCM : DMF 0,5 % en poids		8.5	16	0,8	300-1200	5, 4,1 µg à 24 h	[170] novembre 2014
dix	PCL-PEG -PCL	Acétone: CHCl3 CH3OH	5%, 10% p/p	28-30	dix	2	50-300	59, 68, 81,5%, respectivement	[171] décembre 2019
11	PLA	CHCl3	10, 15 % en poids/poids	13-15	12	0,5	516	32 µg/mL à 72 h	[172] Mars 2017
12	PCL-PEG	CHCl3 : Acétone	8,7%	18	15	2	400 ± 20	95,11% à 24h	[173] avril 2018
13	PCL	HFIP	5, 10% en poids	20	21	0,5	427-651	libération en rafale à 24 h	[174] Février 2020
14	PCEC	DCM	20% en poids	18	12	6	535	libération en rafale dans le premier 24 heures	[175] avril 2014
15	PLLA-PCL	HFIP	2,0%, 4,0% 6,0 % p/p	dix	15	1.2	293 ± 110	sustain libéré sur 72 h	[176] Novembre 2014
16	CA-PVP	Acétone: H2O	dix%	25	15	3	1560 ± 145	22 % (1,2 µg/mL) à 120 min	[177] avril 2017
17	PU-CA	DMF : THF DMF : Acétone	4,0% en poids	17	15	0,4	222 ± 44	–	[180] Février 2020
18	PLLA	DCM : DMF	0,2, 0,5, 1,0 % p/p	24	15	-	380 ± 113	22, 34, 58 % à 50 h	[181] Octobre 2019
19	Callosia	Acétone: DMAc	5, 10, 15, 20 % en poids	17	15	1	340 ± 98	90 à 95% à 50h	[183] décembre 2007
20	PCL	HFIP	2,5 mg/ml 18		20	0,3	1548 µm	23% à 6h Jusqu'à 106h	[185] juin 2020

8. Remarques finales et perspectives d'avenir La

cicatrisation des plaies diabétiques reste un problème clinique complexe et le traitement des plaies doit être effectué correctement et efficacement. Le soin des plaies a reçu beaucoup d'attention, en se concentrant sur les techniques de traitement innovantes et le développement technologique pour la gestion des plaies aiguës et chroniques. Une centaine de sociétés pharmaceutiques produisent de nombreuses formulations de curcumine pour traiter de nombreuses maladies, notamment le cancer, le diabète, les maladies inflammatoires de l'intestin, les maladies cardiovasculaires et les troubles neurologiques. Beaucoup de ces formulations font également l'objet d'essais cliniques. Cependant, il a été démontré que la curcumine a divers effets pharmacologiques, et ses qualités anti-inflammatoires et antioxydantes soutiennent notamment son utilisation future comme traitement des plaies. Il existe actuellement plusieurs compléments alimentaires à base de curcumine sur le marché, notamment CurcuMIND, Longvida RD CAVACURMIN, CurcuVIVATM, TheracurminTM, BiocurcumaxTM et BCM-95, et bien d'autres. De nombreuses formulations topiques de curcumine, y compris des nano-architectures, ont été créées et testées pour améliorer la capacité du médicament à favoriser la cicatrisation des plaies. Les principaux avantages de la nanoformulation topique de curcumine comprennent sa solubilité, sa biodisponibilité améliorée et sa libération prolongée sous forme active, qui sont tous incontestablement très avantageux pour maintenir une dose constante du médicament sur une période prolongée afin d'améliorer la cicatrisation des plaies. Avant de futurs développements cliniques, il est crucial de comprendre le dosage idéal de curcumine pour plusieurs cibles, notamment son implication complexe dans la réponse inflammatoire lors de la cicatrisation des plaies.

Au cours des deux dernières décennies, la technologie de l'électrofilage a suscité un intérêt croissant en tant que méthode très adaptable pour produire des micro-nanofibres de différentes tailles. Le matériau fibreux électrofilé présente une surface spécifique, une porosité, une fonctionnalité de surface et une capacité d'ajustement morphologique des fibres exceptionnellement élevées. Ces caractéristiques confèrent au matériau fibreux Electrospun un éventail de propriétés parfaites qui peuvent satisfaire les besoins d'application de divers secteurs, notamment la biomédecine et l'ingénierie tissulaire. De plus, les nanofibres Electrospun peuvent transporter une gamme de composés bioactifs et libérer continuellement des médicaments particulièrement avantageux pour améliorer l'efficacité globale de la p. La littérature examinée ici démontre que l'incorporation de curcumine dans les nanofibres Electrospun et son application topique sur le site de la plaie ont été étudiées pour prévenir ou traiter les infections cutanées et pour faciliter une régénération cutanée plus efficace en méditant les phases distinctes de la cicatrisation des plaies.

Cependant, ce pansement innovant doit être examiné dans de nombreuses études cliniques avant son utilisation clinique finale. La réalisation d'essais cliniques est essentielle à la commercialisation des systèmes d'administration de médicaments à membrane Electrospun destinés à favoriser la régénération cutanée et à améliorer la qualité de vie des patients. De plus, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour déterminer la durée de conservation et les conditions de stockage optimales des tapis Electrospun. Avant cela, la production et la reproductibilité des pansements à base d'électrofilage doivent être améliorées, la recherche sur la cicatrisation des plaies doit être accélérée et davantage d'essais cliniques sur les pansements à base d'électrofilage doivent être accélérés. Des ingrédients bioactifs d'antimicrobiens, d'antibiotiques, d'agents anti-inflammatoires et de médicaments traditionnels pourraient être incorporés dans la solution Electrospun pour développer de nouveaux nanomatériaux bioactifs Electrospun qui peuvent être libérés dans le site de la plaie pour accélérer la cicatrisation des plaies diabétiques.

Le résumé de cette revue indique que plusieurs formulations topiques de nanofibres Electrospun de curcumine ont été créées pour améliorer les bénéfices thérapeutiques en délivrant régulièrement de la curcumine au site de la blessure. Cependant, la recherche devrait adopter une approche systématique pour explorer les processus moléculaires qui sous-tendent sa capacité à contrôler l'environnement cellulaire de la plaie et l'inflammation chronique. Bien que les recherches actuelles sur plusieurs formulations topiques de curcumine semblent encourageantes, des études cliniques sont encore nécessaires, puisque la plupart des données publiées sont générées à partir de tests *in vitro* et *in vivo*. Par conséquent, prochainement, des études cliniques expérimentales sur l'homme devraient clarifier l'efficacité thérapeutique de différentes formulations topiques de nanofibres en matière de cicatrisation et répondre aux préoccupations concernant leur sécurité dans les systèmes biologiques.

Contributions de l'auteur : enquête, analyse formelle et rédaction – version originale, GPT et SG ; conceptualisation, supervision, enquête, analyse formelle et rédaction – ébauche originale, VA, VRS et GS ; supervision et rédaction – révision et édition, MK et VRS ; investigation, SG, MK et GPT Tous les auteurs ont lu et accepté la version publiée du manuscrit.

Financement : Cette recherche n'a reçu aucun financement externe.

Déclaration de disponibilité des données : Les données présentées dans cette étude sont disponibles sur demande auprès de l'auteur correspondant.

Remerciements : Nous remercions le SRM College of Pharmacy pour son soutien.

Conflits d'intérêts : Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêts.

Les références

- Chan, JCN ; Lim, LL; Wareham, New Jersey ; Shaw, JE; Verger, TJ ; Zhang, P. ; Lau, ESH; Eliasson, B. ; Kong, APS ; Ezzati, M. ; et coll. Commission Lancet sur le diabète : Utiliser les données pour transformer les soins du diabète et la vie des patients. *Lancet* 2020, 396, 2019-2082. [\[Référence croisée\]](#)
- Mishra, Caroline du Sud ; Chatbar, Kansas ; Kashikar, A. ; Mehndiratta, A. Pied diabétique. *BMJ* 2017, 359, j5064. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#) 3. Lin, CW; Armstrong, DG ; Lin, CH; Liu, PH ; Accroché, SY ; Lee, SR ; Huang, CH ; Huang, YY Tendances nationales de l'épidémiologie des complications du pied diabétique et de l'amputation des membres inférieurs sur une période de 8 ans. *BMJ Ouvert Diabète Res. Soins* 2019, 7, e000795. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
- Chamberlain, RC ; Fleetwood, K. ; Sauvage, SH ; Colhoun, HM; Lindsay, RS ; Pétrie, JR ; McCrimmon, RJ; Gibb, F. ; Philippe, S. ; Sattar, N. ; et coll. Ulcère du pied et risque d'amputation ou de décès des membres inférieurs chez les personnes atteintes de diabète : une étude de cohorte rétrospective nationale basée sur la population. *Soins du diabète* 2022, 45, 83-91. [\[Référence croisée\]](#)
- Bus, SA Prévention des ulcères du pied liés au diabète grâce au retour de pression plantaire. *Chiffre de la Lancette. Santé* 2019, 1, e250-e251. [\[Référence croisée\]](#)
- Aggarwal, BB; Kumar, A. ; Bharti, AC Potentiel anticancéreux de la curcumine : études précliniques et cliniques. *Rés. anticancéreuse*. 2003, 23, 363-398.
- Asadi, N. ; Annabi, N. ; Mostafavi, E. ; Anzabi, M. ; Khalilov, R. ; Saghfi, S. ; Mehrizadeh, M. ; Akbarzadeh, A. Synthèse, caractérisation et évaluation in vitro de nanoparticules magnétiques modifiées avec PCL – PEG – PCL pour une délivrance contrôlée de 5FU. *Artif. Cellules Nanomed. Biotechnologie*. 2018, 46, 938-945. [\[Référence croisée\]](#)
- Peschel, D. ; Koerting, R. ; Nass, N. La curcumine induit des changements dans l'expression des gènes impliqués dans l'homéostasie du cholestérol. *J. Nutr. Biochimie*. 2007, 18, 113-119. [\[Référence croisée\]](#)
- Chainani-Wu, N. Sécurité et activité anti-inflammatoire de la curcumine : un composant du curcuma (*Curcuma Longa*). *J.Altern. Complément. Méd.* 2003, 9, 161-168. [\[Référence croisée\]](#)
- Aggarwal, BB; Sundaram, C. ; Malani, N. ; Ichikawa, H. Curcumine : L'or massif indien. *Av. Exp. Méd. Biol.* 2007, 595, 1-75. [\[Référence croisée\]](#)
- Siviero, A. ; Gallo, E. ; Maggini, V. ; Gori, L. ; Mugelli, A. ; Firenzuoli, F. ; Vannacci, A. Curcumine, une épice dorée à faible biodisponibilité. *J. Herbe. Méd.* 2015, 5, 57-70. [\[Référence croisée\]](#)
- Anand, P. ; Kunnumakkara, Alberta; Newman, RA; Aggarwal, BB Biodisponibilité de la curcumine : problèmes et promesses. *Mol. Pharma.* 2007, 4, 807-818. [\[Référence croisée\]](#)
- Laotien, CD ; Ruffin IV, MT; Normolle, D. ; Heath, DD; Murray, SI; Bailey, JM; Boggs, MOI ; Crowell, J. ; Rocher, CL ; Brenner, DE Augmentation de la dose d'une formulation de curcuminoïde. *Complément BMC. Alternant. Méd.* 2006, 6, 10. [\[Réf. croisée\]](#)
- Hsu, CH; Cheng, AL Études cliniques sur la curcumine. *Av. Exp. Méd. Biol.* 2007, 595, 471-480. [\[Référence croisée\]](#)
- Cheikh, J. ; Ankola, DD; Beniwal, V. ; Singh, D. ; Kumar, L'encapsulation de nanoparticules MNVR améliore la biodisponibilité orale de la curcumine d'au moins 9 fois par rapport à la curcumine administrée avec de la pipérine comme activateur d'absorption. *EUR. J.Pharm. Sci.* 2009, 37, 223-230. [\[Référence croisée\]](#)
- Karri, VVSR ; Kuppusamy, G. ; Talluri, SV; Mannemala, SS ; Kollipara, R. ; Wadhvani, AD; Mulukutla, S. ; Raju, KRS ; Malayandi, R. Nanoparticules de chitosane chargées de curcumine imprégnées dans des échafaudages de collagène-alginate pour la cicatrisation des plaies diabétiques. *Int. J. Biol. Macromol.* 2016, 93, 1519-1529. [\[Référence croisée\]](#)
- Dong, Y. ; Zheng, Y. ; Zhang, K. ; Yao, Y. ; Wang, L. ; Li, X. ; Yu, J. ; Ding, B. Matériaux nanofibreux électrofilés pour la cicatrisation des plaies. *Av. Matière fibreuse*. 2020, 2, 212-227. [\[Référence croisée\]](#)
- Sabarees, G. ; Velmurugan, V. ; Tamilarasi, médecin généraliste ; Alagarsamy, V. ; Raja Solomon, V. Progrès récents dans les nanoparticules d'argent contenant des nanofibres pour la gestion des plaies chroniques. *Polymères* 2022, 14, 3994. [\[CrossRef\]](#)
- Ignatova, M. ; Rashkov, I. ; Manolova, N. Matériaux électrofilés chargés de médicaments dans les applications de pansement et en local Traitement du cancer. *Avis d'expert. Livraison de médicaments*. 2013, 10, 469-483. [\[Référence croisée\]](#)
- Gao, C. ; Zhang, L. ; Wang, J. ; Jin, M. ; Tang, Q. ; Chen, Z. ; Cheng, Y. ; Yang, R. ; Zhao, G. Les nanofibres électrofilées favorisent les blessures Guérison : théories, techniques et perspectives. *J. Mater. Chimique. B* 2021, 9, 3106-3130. [\[Référence croisée\]](#)
- Yang, Y. ; Du, Y. ; Zhang, J. ; Zhang, H. ; Guo, B. Conception structurelle et fonctionnelle de nanofibres électrofilées pour l'hémostase et la cicatrisation des plaies. *Av. Matière fibreuse*. 2022, 1, 1–31. [\[Référence croisée\]](#)

22. Memic, A. ; Abdallah, T. ; Mohammed, HS ; Joshi Navare, K. ; Colombani, T. ; Bencherif, SA Derniers progrès dans le domaine des nanofibres électrofilées pour les applications de cicatrisation des plaies. Application ACS. Bio Mater. 2019, 2, 952-969. [\[Référence croisée\]](#) 23. da Costa, PRA; de Menezes, LR; Dias, ML; da Silva, EO avance dans l'utilisation de l'électrofilage comme technique prometteuse pour l'obtention de nanofibres pour guider la cicatrisation des plaies épithéliales chez les diabétiques — Mini-revue. Polyme. Av. Technologie. 2022, 33, 1031-1046. [\[Référence croisée\]](#)
24. Chen, S. ; Liu, B. ; Carlson, MA ; Gombart, AF; Reilly, DA; Xie, J. Progrès récents dans les nanofibres électrofilées pour la cicatrisation des plaies. Nanomédecine 2017, 12, 1335-1352. [\[Référence croisée\]](#)
25. Liu, X. ; Xu, H. ; Zhang, M. ; Yu, DG Nanofibres médicamenteuses électrofilées pour la cicatrisation des plaies : examen. Membranes 2021, 11, 770. [\[Référence croisée\]](#)
26. Dai, X. ; Liu, J. ; Zheng, H. ; Wichmann, J. ; Hopfner, U. ; Sudhop, S. ; Préin, C. ; Shen, Y. ; Machens, HG; Schilling, AF La curcumine nano-formulée accélère la cicatrisation aiguë des plaies grâce à la mobilisation des fibroblastes médiée par Dkk-1 et à l'anti-inflammation médiée par MCP-1. NPG Asie Mater. 2017, 9, e368. [\[Référence croisée\]](#)
27. Merrell, JG; McLaughlin, SW; Cravate, L. ; Laurencin, CT; Chen, AF; Nair, Nanofibres de poly(ϵ -caprolactone) chargées de curcumine LS : pansement pour plaies diabétiques aux propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires. Clin. Exp. Pharmacol. Physiol. 2009, 36, 1149-1156. [\[Référence croisée\]](#)
28. Guo, R. ; Lan, Y. ; Xue, W. ; Cheng, B. ; Zhang, Y. ; Wang, C. ; Ramakrishna, S. Échafaudages de nanocristaux de collagène-cellulose contenant des microsphères chargées de curcumine sur la réparation des brûlures infectées de pleine épaisseur. J. Tissue Ing. Régénération. Méd. 2017, 11, 3544-3555. [\[Référence croisée\]](#)
29. Li, X. ; Chen, S. ; Zhang, B. ; Li, M. ; Diao, K. ; Zhang, Z. ; Li, J. ; Xu, Y. ; Wang, X. ; Chen, H. Hydrogel nano-composite injectable in situ composé de curcumine, de N,O-carboxyméthylchitosane et d'alginate oxydé pour une application de cicatrisation des plaies. Int. J. Pharma. 2012, 437, 110-119. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
30. Wathoni, N. ; Motoyama, K. ; Higashi, T. ; Okajima, M. ; Kaneko, T. ; Arima, H. Amélioration de la capacité de cicatrisation des plaies de la curcumine par complexation avec la 2-hydroxypropyl- γ -cyclodextrine dans un film d'hydrogel sacré. Int. J. Biol. Macromol. 2017, 98, 268-276. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
31. Gong, CY ; Wu, QJ; Wang, YJ; Zhang, DD; Luo, F. ; Zhao, X. ; Wei, YQ; Qian, ZY Un système d'hydrogel biodégradable contenant de la curcumine encapsulée dans des micelles pour la cicatrisation cutanée des plaies. Biomateriaux 2013, 34, 6377-6387. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
32. Gopinath, D. ; Ahmed, M. ; Gomathi, K. ; Chitra, K. ; Sehgal, PK ; Jayakumar, R. Processus de cicatrisation des plaies cutanées avec la curcumine Films de collagène incorporés. Biomateriaux 2004, 25, 1911-1917. [\[Référence croisée\]](#)
33. Qian, Z. ; Dai, M. ; Zheng, X. ; Xu, X. ; Kong, X. ; Li, X. ; Guo, G. ; Luo, F. ; Zhao, X. ; Wei, YQ Éponge de chitosane-alginate : préparation et application dans l'administration de curcumine pour la cicatrisation des plaies cutanées chez le rat. J. Bioméd. Biotechnologie. 2009, 2009, 595126. [\[Réf. croisée\]](#)
34. Chen, P. ; Zhang, H. ; Cheng, S. ; Zhai, G. ; Shen, C. Développement d'un gel thermosensible in situ à base de transporteur lipidique nanostructuré chargé de curcumine pour l'administration cutanée. Surfaces de colloïdes A Physicochem. Ing. Aspic. 2016, 506, 356-362. [\[Référence croisée\]](#)
35. Mohanty, C. ; Das, M. ; Sahoo, SK Activité soutenue de cicatrisation des plaies du bandage polymère à base d'acide oléique chargé en curcumine dans un modèle de rat. Mol. Pharma. 2012, 9, 2801-2811. [\[Référence croisée\]](#)
36. Li, X. ; Ouy, X. ; Qi, J. ; Fan, R. ; Gao, X. ; Wu, Y. ; Zhou, L. ; Tong, A. ; Guo, G. EGF et système de nanoparticules/hydrogel co-encapsulés de curcumine comme agent puissant de régénération de la peau. Int. J. Nanomed. 2016, 11, 3993-4009. [\[Référence croisée\]](#)
37. Krausz, AE; Adler, BL; Cabral, V. ; Navati, M. ; Doerner, J. ; Charafeddine, RA; Chandra, D. ; Liang, H. ; Gunther, L. ; Clendaniel, A. ; et coll. Nanoparticules encapsulées dans la curcumine en tant qu'agent antimicrobien et cicatrisant innovant. Nanomed. Nanotechnologie. Biol. Méd. 2015, 11, 195-206. [\[Référence croisée\]](#)
38. Jagannath, JH ; Radhika, M. Émulsion antimicrobienne (revêtement) à base de biopolymère contenant de l'extrait de neem (Melia Azardichta) et de curcuma (Curcuma Longa) pour couvrir les plaies. Biomède. Maître. Ing. 2006, 16, 329-336.
39. Li, X. ; Nan, K. ; P'tit; Zhang, Z. ; Chen, H. Évaluation in vivo de la nanoformulation de curcumine chargée de méthoxy poly (éthylène Glycol)-Graft-Chitosane Film composite pour application de cicatrisation des plaies. Glucides. Polyme. 2012, 88, 84-90. [\[Référence croisée\]](#)
40. Manca, ML; Castangia, I. ; Zaru, M. ; Nacher, A. ; Valenti, D. ; Fernández-Busquets, X. ; Fadda, AM; Manconi, M. Développement de vésicules immobilisées par hyaluronate de sodium chargées de curcumine (hyalurosomes) et leur potentiel sur l'inflammation cutanée et la restauration des plaies. Biomateriaux 2015, 71, 100-109. [\[Référence croisée\]](#)
41. El-Refaie, WM; Elnaggar, YSR ; El-Massik, MA; Abdallah, OY Nouveaux hyalurosomes à noyau de gel chargés en curcumine avec un potentiel prometteur de guérison des brûlures : développement, évaluation in vitro et études in vivo. Int. J. Pharm. 2015, 486, 88-98. [\[Référence croisée\]](#)
42. Castangia, I. ; Nacher, A. ; Caddéo, C. ; Valenti, D. ; Fadda, AM; Diez-Sales, O. ; Ruiz-Sauri, A. ; Manconi, M. Fabrication de bionanovésicules de quercétine et de curcumine pour la prévention et la régénération rapide des défauts cutanés de pleine épaisseur chez la souris. Acta Biomater. 2014, 10, 1292-1300. [\[Référence croisée\]](#)
43. Cherreddy, KK; Coco, R. ; Memvanga, PB ; Ucakar, B. ; Des Rieux, A. ; Vandermeulen, G. ; Prétat, V. Effet combiné du PLGA et Curcumine sur l'activité de cicatrisation des plaies. J. Control Release 2013, 171, 208-215. [\[Référence croisée\]](#)
44. Grice, EA; Kong, HH ; Conlan, S. ; Deming, CB; Davis, J. ; Jeune, AC ; Bouffard, GG; Blakesley, RW; Murray, PR ; Vert, ED ; et coll. Diversité topographique et temporelle du microbiome cutané humain. Sciences 2009, 324, 1190-1192. [\[Référence croisée\]](#)
45. Dréno, B. Résistance bactériologique de l'acné : un appel à l'action. EUR. J. Dermatol. 2016, 26, 127-132. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
46. Dessinioti, C. ; Katsambas, A. Propionibacterium Acnes et résistance aux antimicrobiens dans l'acné. Clin. Dermatol. 2017, 35, 163-167. [\[Référence croisée\]](#)

47. Del Rosso, JQ Antibiotiques topiques et oraux pour l'acné vulgaire. *Semin. Cutan. Méd. Surg.* 2016, 35, 57-61. [\[Référence croisée\]](#)
48. Liu, CH; Huang, HY Activité antimicrobienne des microémulsions d'acide myristique chargées de curcumine contre *Staphylococcus* *Épidermidis*. *Chimique. Pharma. Taureau.* 2012, 60, 1118-1124. [\[Référence croisée\]](#)
49. Baltazar, LM; Krausz, AE; Souza, ACO; Adler, BL; Landriscina, A. ; Musaev, T. ; Nosanchuk, JD; Friedman, AJ *Trichophyton Rubrum* est inhibé par la curcumine libre et encapsulée dans des nanoparticules par induction du stress nitrosatif après activation photodynamique. *PLoS ONE* 2015, 10, e0120179. [\[Référence croisée\]](#)
50. Zorofchian Moghadamtousi, S. ; Abdul Kadir, H. ; Hassandarvish, P. ; Tadjik, H. ; Abubakar, S. ; Zandi, K. Une revue sur l'activité antibactérienne, antivirale et antifongique de la curcumine. *Bioméde. Rés. Int.* 2014, 2014, 186864. [\[Réf. croisée\]](#)
51. Mata, IRd; Mata, SRd ; Ménezès, RCR ; Faccioli, LS; Bandeira, KK; Bosco, SMD Avantages de la supplémentation en curcuma pour la santé de la peau dans les maladies chroniques : une revue systématique. *Critique. Révérénd Food Sci. Nutr.* 2021, 61, 3421-3435. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
52. Jones, Virginie ; Patel, PM ; Wilson, C. ; Wang, H. ; Ashack, KA Traitements de médecine complémentaire et alternative pour les maladies courantes Maladies de la peau : une revue systématique et une méta-analyse. *JAAD Int.* 2021, 2, 76-93. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
53. Kunnumakkara, Alberta ; Bordoloi, D. ; Padmavathi, G. ; Monisha, J. ; Roy, NK ; Prasad, S. ; Aggarwal, BB Curcumin, le nutraceutique doré : multi-ciblage pour plusieurs maladies chroniques. *Frère. J. Pharmacol.* 2017, 174, 1325-1348. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
54. Salehi, B. ; Stojanović-Radić, Z. ; Matejić, J. ; Sharifi-Rad, M. ; Anil Kumar, NV ; Martins, N. ; Sharifi-Rad, J. Le potentiel thérapeutique de la curcumine : une revue des essais cliniques. *EUR. J.Méd. Chimique.* 2019, 163, 527-545. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
55. Vollono, L. ; Falconi, M. ; Gaziano, R. ; Iacovelli, F. ; Dika, E. ; Terracciano, C. ; Bianchi, L. ; Campione, E. Potentiel de la curcumine dans Problèmes dermatologiques. *Nutriments* 2019, 11, 2169. [\[CrossRef\]](#)
56. Panahi, Y. ; Fazlollahzadeh, O. ; Atkin, SL; Majeed, M. ; Majordome, AE ; Johnston, TP; Sahebkar, A. Preuve des effets de la curcumine et des analogues de la curcumine dans les maladies de la peau : une revue narrative. *J. Cell. Physiol.* 2019, 234, 1165-1178. [\[Référence croisée\]](#)
57. Thangapazham, RL; Sharma, A. ; Maheshwari, RK Rôle bénéfique de la curcumine dans les maladies de la peau. *Av. Exp. Méd. Biol.* 2007, 595, 343-357. [\[Référence croisée\]](#)
58. Waghule, T. ; Gorantla, S. ; Rapalli, VK ; Shah, P. ; Dubey, Saskatchewan; Saha, infirmière autorisée ; Singhvi, G. Tendances émergentes dans l'administration topique de curcumine via des nanoporteurs lipidiques : efficacité dans les troubles cutanés. *AAPS PharmSciTech* 2020, 21, 284. [\[CrossRef\]](#)
59. Liang, G. ; Li, X. ; Chen, L. ; Yang, S. ; Wu, X. ; Studer, E. ; Gurley, E. ; Hylémon, PB ; Oui, F. ; Li, Y. ; et coll. Synthèse et activités anti-inflammatoires des analogues mono-carbonyliques de la curcumine. *Bioorganique Med. Chimique. Lett.* 2008, 18, 1525-1529. [\[Référence croisée\]](#)
60. Williams, MD; Nadler, JL Mécanismes inflammatoires des complications diabétiques. *Curr. Diab. Rapport* 2007, 7, 242-248. [\[Référence croisée\]](#)
61. Motterlini, R. ; Foresti, R. ; Bassi, R. ; La curcumine verte, CJ, un agent antioxydant et anti-inflammatoire, induit l'hème oxygénase-1 et protège les cellules endothéliales contre le stress oxydatif. *Radic libre. Biol. Méd.* 2000, 28, 1303-1312. [\[Référence croisée\]](#)
62. Venkatasubbu, GD ; Anusuya, T. Enquête sur le nanocomposite de curcumine pour le pansement des plaies. *Int. J. Biol. Macromol.* 2017, 98, 366-378. [\[Référence croisée\]](#)
63. Yallapu, MM ; Nagesh, PKB; Jaggi, M. ; Chauhan, SC Applications thérapeutiques des nanoformulations de curcumine. *AAPS J.* 2015, 17, 1341-1356. [\[Référence croisée\]](#)
64. Gowthamarajan, K. Actions biologiques multiples de la curcumine dans la gestion des complications de l'ulcère du pied diabétique : une revue systématique. *Trop. Méd. Surg.* 2015, 3, 1-6. [\[Référence croisée\]](#)
65. Farzaei, MH; Zobeiri, M. ; Parvizi, F. ; El-Senduny, FF; Marmouzi, I. ; Coy-Barrera, E. ; Naseri, R. ; Nabavi, SM; Rahimi, R. ; Abdollahi, M. Curcumine dans les maladies du foie : une revue systématique des mécanismes cellulaires du stress oxydatif et perspective clinique. *Nutriments* 2018, 10, 855. [\[CrossRef\]](#)
66. Bhatia, M. ; Bhalerao, M. ; Cruz-Martins, N. ; Kumar, D. Curcumine et biologie du cancer : focaliser les effets réglementaires sur différents Voies de signalisation. *Phyther. Rés.* 2021, 35, 4913-4929. [\[Référence croisée\]](#)
67. Shen, XY; Li, Y. ; Zhang, Z. Progrès de la recherche sur la curcumine dans le traitement de l'arthrose. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi* 2021 , 59, 554-557. [\[Référence croisée\]](#)
68. Ghanéen, N. ; Lashgari, Caroline du Nord ; Abdolghaffari, AH; Rajaei, SM; Panahi, Y. ; Barreto, GE ; Majordome, AE ; Sahebkar, A. La curcumine comme candidat thérapeutique pour la sclérose en plaques : mécanismes moléculaires et cibles. *J. Cell. Physiol.* 2019, 234, 12237-12248. [\[Référence croisée\]](#)
69. Chauhan, PS; Singh, DK ; Tired, D. ; Singh, R. La curcumine intranasale régule l'asthme chronique chez la souris en modulant le NF-kB Activation et signalisation MAPK. *Phytomédecine* 2018, 51, 29-38. [\[Référence croisée\]](#)
70. Andrade, JT; Fantini de Figueiredo, G. ; Cruz, LF; Eliza de Moraes, S. ; Souza, CDF; Pinto, FCH ; Ferreira, JMS; Araújo, MGD Efficacité de la curcumine dans le traitement de la candidose vulvovaginale expérimentale. *Révérénd Iberoam. Micol.* 2019, 36, 192-199. [\[Référence croisée\]](#)
71. Wu, X. ; Zhou, X. ; Lai, S. ; Liu, J. ; Qi, J. La curcumine active la signalisation Nrf2/HO-1 pour soulager les lésions de cardiomyopathie diabétique en Réduire les ROS in Vitro et in Vivo. *FASEB J.* 2022, 36, e22505. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
72. Reena, K. ; Singh, L. Curcumine : Un examen de son efficacité dans la gestion du psoriasis. *Livraison de médicaments. Lett.* 2022, 12, 163-183. [\[Référence croisée\]](#)
73. Chamani, S. ; Moossavi, M. ; Naghizadeh, A. ; Abbasifard, M. ; Majeed, M. ; Johnston, TP; Sahebkar, A. Effets immunomodulateurs de la curcumine dans les maladies auto-immunes systémiques. *Phyther. Rés.* 2022, 36, 1616-1632. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
74. Han, Y. ; Soleil, HJ ; Tong, Y. ; Chen, YZ; Oui, C. ; Qiu, Y. ; Zhang, F. ; Chen, AD ; Qi, XH; Chen, Q. ; et coll. La curcumine atténue la migration des cellules musculaires lisses vasculaires en inhibant l'expression de NLRP3 médiée par NFκB chez les rats spontanément hypertendus. *J. Nutr. Biochimie.* 2019, 72, 108212. [\[Réf. croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)

75. Wojcik, M. ; Krawczyk, M. ; Wozniak, LA Activité antidiabétique de la curcumine. Nutr. Là. Interv. Métab du diabète. Syndr. 2018, 385-401. [\[Référence croisée\]](#)
76. Parsamanesh, N. ; Moossavi, M. ; Bahrami, A. ; Majordome, AE ; Sahebkar, A. Potentiel thérapeutique de la curcumine dans les complications diabétiques tion. Pharmacol. Rés. 2018, 136, 181-193. [\[Référence croisée\]](#)
77. Voulgaropoulou, SD; van Amelsvoort, TAMJ; Prickaerts, J. ; Vingerhoets, C. L'effet de la curcumine sur la cognition dans la maladie d'Alzheimer et le vieillissement en bonne santé : une revue systématique des études précliniques et cliniques. Cerveau Res. 2019, 1725, 146476. [\[Référence croisée\]](#)
78. Coelho, M. ; Romi, MD ; Ferreira, DMTP; Zaltman, C. ; Soares-Mota, M. L'utilisation de la curcumine comme thérapie complémentaire dans la colite ulcéreuse : une revue systématique des essais cliniques contrôlés randomisés. Nutriments 2020, 12, 2296. [\[CrossRef\]](#)
79. Rahimnia, AR ; Panahi, Y. ; Alishiri, G. ; Sharafi, M. ; Sahebkar, A. Impact de la supplémentation en curcuminoïdes sur l'inflammation systémique chez les patients souffrant d'arthrose du genou : résultats d'un essai randomisé en double aveugle contrôlé par placebo. Médicament Res. 2014, 65, 521-525. [\[Référence croisée\]](#)
80. Prasad, S. ; Gupta, Caroline du Sud ; Tyagi, AK ; Aggarwal, BB Curcumin, un composant de Golden Spice : du chevet au banc et au dos. Biotechnologie. Av. 2014, 32, 1053-1064. [\[Référence croisée\]](#)
81. Chen, AL; Hsu, CH; Lin, JK ; Hsu, MM ; Ho, YF ; Elle, TS ; Ko, JY ; Lin, JT ; Lin, BR; Wu, MS; et coll. Essai clinique de phase I sur la curcumine, un agent chimiopréventif, chez des patients présentant des lésions à haut risque ou pré-malignes. Rés. anticancéreuse. 2001, 21, 2895-2900.
82. Qin, S. ; Huang, L. ; Gong, J. ; Shen, S. ; Huang, J. ; Ren, H. ; Hu, H. Efficacité et innocuité du curcuma et de la curcumine pour abaisser les taux de lipides sanguins chez les patients présentant des facteurs de risque cardiovasculaire : une méta-analyse d'essais contrôlés randomisés. Nutr. J. 2017, 16, 68. [\[Référence croisée\]](#)
83. Dhillon, N. ; Aggarwal, BB; Newman, RA; Wolff, RA; Kunnumakkara, Alberta; Abruzzese, JL; Ng, CS; Badmaev, V. ; Kurzrock, R. Essai de phase II sur la curcumine chez des patients atteints d'un cancer du pancréas avancé. Clin. Cancer Rés. 2008, 14, 4491-4499. [\[Référence croisée\]](#)
84. Ryan, JL; Heckler, CE; Ling, M. ; Katz, A. ; Williams, JP; Pentland, AP ; Morrow, GR Curcumine pour la dermatite radique : un essai clinique randomisé, en double aveugle et contrôlé par placebo auprès de trente patientes atteintes d'un cancer du sein. Radiateur. Rés. 2013, 180, 34-43. [\[Référence croisée\]](#)
85. Sharma, RA; McLelland, RH ; Colline, KA ; Euden, SA; Intendant, WP ; Gescher, AJ; Ireson, CR ; Manson, MM; Pirmohamed, M. ; Marnett, LJ Étude pharmacodynamique et pharmacocinétique de l'extrait de curcuma oral chez des patients atteints d'un cancer colorectal. Clin. Cancer Rés. 2001, 7, 1894-1900.
86. Soleimani, V. ; Sahebkar, A. ; Hosseinzadeh, H. Curcuma (Curcuma Longa) et son constituant principal (curcumine) comme non toxiques et Substances sûres : examen. Phytther. Rés. 2018, 32, 985-995. [\[Référence croisée\]](#)
87. Hanai, H. ; Iida, T. ; Takeuchi, K. ; Watanabe, F. ; Maruyama, Y. ; Andoh, A. ; Tsujikawa, T. ; Fujiyama, Y. ; Mitsuyama, K. ; SATA, M. ; et coll. Thérapie d'entretien à la curcumine pour la colite ulcéreuse : essai randomisé, multicentrique, en double aveugle et contrôlé par placebo. Clin. Gastroentérol. Hépatol. 2006, 4, 1502-1506. [\[Référence croisée\]](#)
88. Sharma, RA; Euden, SA; Platton, SL; Cooke, DN ; Shafayat, A. ; Hewitt, RH ; Marczylo, TH; Morgan, B. ; Hemingway, D. ; Plummer, SM; et coll. Essai clinique de phase I sur la curcumine orale : biomarqueurs de l'activité systémique et de l'observance. Clin. Cancer Rés. 2004, 10, 6847-6854. [\[Référence croisée\]](#)
89. Eaton, JE; Nelson, km. ; Gossard, AA; Carey, EJ ; Tabibian, JH; Lindor, KD; LaRusso, NF Efficacité et sécurité de la curcumine dans la cholangite sclérosante primitive : une étude pilote ouverte. Scand. J. Gastroentérol. 2019, 54, 633-639. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
90. Epelbaum, R. ; Schaffer, M. ; Vizel, B. ; Badmaev, V. ; Bar-Sela, G. Curcumine et Gemcitabine chez les patients atteints d' un cancer du pancréas avancé. Nutr. Cancer 2010, 62, 1137-1141. [\[Référence croisée\]](#)
91. Greil, R. ; Greil-Ressler, S. ; Weiss, L. ; Schönlieb, C. ; Magnés, T. ; Radl, B. ; Bolger, GT; Vcelar, B. ; Sordillo, PP Une étude de phase 1 sur l'augmentation de la dose sur l'innocuité, la tolérance et l'activité de la curcumine liposomale (LipocurcTM) chez les patients atteints d' un cancer localement avancé ou métastatique. Chimiothérapie contre le cancer. Pharmacol. 2018, 82, 695-706. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
92. Storka, A. ; Vcelar, B. ; Klickovic, U. ; Gouya, G. ; Weisshaar, S. ; Aschauer, S. ; Bolger, G. ; Helson, L. ; Wolzt, M. Sécurité, tolérance et pharmacocinétique de la curcumine liposomale chez les humains en bonne santé. Int. J. Clin. Pharmacol. Là. 2015, 53, 54-65. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
93. Lukefahr, AL; McEvoy, S. ; Alfafara, C. ; Funk, JL Hépatite auto-immune d'origine médicamenteuse associée au curcuma Detary Utilisation du supplément. Représentant du cas BMJ 2018, 2018, bcr2018224611. [\[Référence croisée\]](#)
94. Dickinson, Colombie-Britannique; Chang, CJ Chimie et biologie des espèces réactives de l'oxygène dans la signalisation ou les réponses au stress. Nat. Chimique. Biol. 2011, 7, 504-511. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
95. Titulaire, directeur général ; Plummer, JL; Ryan, AJ Le métabolisme et l'excrétion de la curcumine (1,7-Bis-(4-Hydroxy-3-Methoxyphényl)-1,6-Heptadiène-3,5-Dione) chez le Rat. Xénobiotique 1978, 8, 761-768. [\[Référence croisée\]](#)
96. Kant, V. ; Gopal, A. ; Pathak, NN ; Kumar, P. ; Tandan, Saskatchewan ; Kumar, D. Le potentiel antioxydant et anti-inflammatoire de la curcumine a accéléré la cicatrisation des plaies cutanées chez les rats diabétiques induits par la streptozotocine. Int. Immunopharmacol. 2014, 20, 322-330. [\[Référence croisée\]](#)
97. Sidhu, GS; Mani, H. ; Gaddipati, JP; Singh, AK ; Seth, P. ; Banaudha, KK; Patnaik, GK ; Maheshwari, RK La curcumine améliore la cicatrisation des plaies chez les rats diabétiques induits par la streptozotocine et les souris génétiquement diabétiques. Régénération de réparation des plaies. 1999, 7, 362-374. [\[Référence croisée\]](#)
98. Chandra, D. ; Gupta, SS Activité anti-inflammatoire et anti-arthritique de l'huile volatile de Curcuma Longa (Haldi). Indien J. Med. Rés. 1972, 60, 138-142.

99. Gunes, H. ; Gülen, D. ; Mutlu, R. ; Gumus, A. ; Tas, T. ; Topkaya, AE Effets antibactériens de la curcumine : étude de concentration minimale inhibitrice in vitro . Toxicol. Ind. Santé 2016, 32, 246-250. [\[Référence croisée\]](#)
100. Lim, médecin généraliste ; Chu, T. ; Yang, F. ; Hêtre, W. ; Frautschy, SA; Cole, GM La curcumine Curry Spice réduit les dommages oxydatifs et Pathologie amyloïde chez une souris transgénique Alzheimer. J. Neurosci. 2001, 21, 8370-8377. [\[Référence croisée\]](#)
101. Falanga, V. Cicatrisation des plaies et ses déficiences dans le pied diabétique. Lancet 2005, 366, 1736-1743. [\[Référence croisée\]](#)
102. Abdollahi, E. ; Momtazi, AA; Johnston, TP; Sahebkar, A. Effets thérapeutiques de la curcumine dans les maladies inflammatoires et immunitaires Maladies médiatisées : un touche-à-tout créé par la nature ? J. Cell. Physiol. 2018, 233, 830-848. [\[Référence croisée\]](#)
103. Javadi, B. ; Sahebkar, A. Produits naturels aux activités anti-inflammatoires et immunomodulatrices contre la myocardite auto-immune. Pharmacol. Rés. 2017, 124, 34-42. [\[Référence croisée\]](#)
104. Peng, Y. ; Ao, M. ; Dong, B. ; Jiang, Y. ; Yu, L. ; Chen, Z. ; Hu, C. ; Xu, R. Effets anti-inflammatoires de la curcumine dans les maladies inflammatoires : statut, limites et contre-mesures. Drogue Des. Développer. Là. 2021, 15, 4503-4525. [\[Référence croisée\]](#)
105. Buhrmann, C. ; Mobasheri, A. ; Busch, F. ; Aldinger, C. ; Stahlmann, R. ; Montaseri, A. ; Shakibaei, M. La curcumine module l'inflammation médiée par le facteur nucléaire KB (NF-KB) dans les ténocytes humains in vitro : rôle de la voie phosphatidylinositol 3-Kinase/Akt. J. Biol. Chimique. 2011, 286, 28556-28566. [\[Référence croisée\]](#)
106. Yens, YH ; Pu, CM ; Liu, CW; Chen, YC ; Chen, YC ; Liang, CJ; Hsieh, JH; Huang, HF ; Chen, YL La curcumine accélère la cicatrisation des plaies cutanées via de multiples actions biologiques : l'implication du TNF- α , de la MMP-9, de l' α -SMA et du collagène. Int. Blessure J. 2018, 15, 605-617. [\[Référence croisée\]](#)
107. Soetikno, V. ; Sari, FR; Sukumaran, V. ; Lakshmanan, AP; Mito, S. ; Harima, M. ; Thandavarayan, RA; Suzuki, K. ; Nagata, M. ; Takagi, R. ; et coll. La curcumine prévient la cardiomyopathie diabétique chez les rats diabétiques induits par la streptozotocine : implication possible de la voie de signalisation PKC-MAPK. EUR. J.Pharm. Sci. 2012, 47, 604-614. [\[Référence croisée\]](#)
108. Sajithlal, GB ; Chithra, P. ; Chandrakasan, G. Effet de la curcumine sur la glycation avancée et la réticulation du collagène dans Rats diabétiques. Biochimie. Pharmacol. 1998, 56, 1607-1614. [\[Référence croisée\]](#)
109. Srivastava, G. ; Mehta, JL Currying the Heart : Curcumine et cardioprotection. J. Cardiovasc. Pharmacol. Là. 2009, 14, 22-27. [\[Référence croisée\]](#)
110. Farhangkhoe, H. ; Khan, ZA; Chen, S. ; Chakrabarti, S. Effets différentiels de la curcumine sur les facteurs vasoactifs chez le rat diabétique Cœur. Nutr. Métab. 2006, 3, 27. [\[Réf. croisée\]](#)
111. Rungseesantivanon, S. ; Thenchaisri, N. ; Ruangvejvorachai, P. ; Patumraj, S. La supplémentation en curcumine pourrait améliorer le dysfonctionnement endothélial induit par le diabète associé à une diminution de la production vasculaire de superoxyde et à l'inhibition de la PKC. Complément BMC . Alternant. Méd. 2010, 10, 1–9. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
112. Patumraj ; Antivanon des échelons ; Thengchaisri ; La curcumine Ruangvejvorachai améliore le rapport prostanoïde dans les artères mésentériques diabétiques associées à la suppression de la cyclooxygénase-2 et du NF- κ B. Diabète, Metab. Syndr. Obés. Cibles Là. 2010, 3, 421. [\[Référence croisée\]](#)
113. Hassan, N. ; El-Bassossy, HM; Zakaria, L'induction MNM Heme Oxygenase-1 protège contre l'hypertension associée au diabète : effet sur la contractilité vasculaire exagérée. Naunyn. Schmiedeberg. Cambre. Pharmacol. 2013, 386, 217-226. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
114. Lin, W. ; Shen, P. ; Chanson, Y. ; Huang, Y. ; Tu, S. Espèces réactives de l'oxygène dans les cellules auto-immunes : fonction, différenciation et Métabolisme. Devant. Immunol. 2021, 12, 488. [\[CrossRef\]](#) [\[Pub Med\]](#)
115. Mahmood, K. ; Zia, KM; Zuber, M. ; Salman, M. ; Anjum, MN Développements récents dans le domaine de la curcumine et des polymères à base de curcumine Matériaux pour applications biomédicales : une revue. Int. J. Biol. Macromol. 2015, 81, 877-890. [\[Référence croisée\]](#)
116. Hussein, Z. ; Jeu, IL; Amjad, MW; Hussein, F. ; Ahmed, TA; Khan, S. Explorer les développements récents pour améliorer l'efficacité antioxydante, anti-inflammatoire et antimicrobienne de la curcumine : un examen des nouvelles tendances et des perspectives futures. Maître. Sci. Ing. C 2017, 77, 1316-1326. [\[Référence croisée\]](#)
117. Jagetia, GC; Rajanikant, la curcumine GK stimule les mécanismes antioxydants de la peau de souris exposée à des produits fractionnés Irradiation γ . Antioxydants 2015, 4, 25-41. [\[Référence croisée\]](#)
118. Hassan, FU; Rehman, MSU ; Khan, MS ; Ali, MA ; Javé, A. ; Nawaz, A. ; Yang, C. La curcumine comme modulateur épigénétique alternatif : mécanisme d'action et effets potentiels. Devant. Genet. 2019, 10, 514. [\[Réf. croisée\]](#)
119. Loughlin, DT; Artlett, CM La modification du collagène par la 3-désoxyglucosone modifie la cicatrisation des plaies grâce à une régulation différentielle tion de P38 MAP Kinase. PLoS ONE 2011, 6, e18676. [\[Référence croisée\]](#)
120. Martin, P. Cicatrisation des plaies – Viser une régénération cutanée parfaite. Sciences 1997, 276, 75-81. [\[Référence croisée\]](#)
121. Blakytyn, R. ; Jude, E. La biologie moléculaire des plaies chroniques et la guérison retardée du diabète. Diabète. Méd. 2006, 23, 594-608. [\[Référence croisée\]](#)
122. Scharstuhl, A. ; Mutsaers, JAMBON ; Pennings, CFC ; Szarek, Washington ; Russel, MGF ; Wagener, L'apoptose des fibroblastes induite par la curcumine FADTG et la contraction des plaies in vitro sont régulées par les antioxydants et l'hème oxygénase : implications pour la formation de cicatrices. J. Cell. Mol. Méd. 2009, 13, 712-725. [\[Référence croisée\]](#)
123. Mo, Y. ; Guo, R. ; Zhang, Y. ; Xue, W. ; Cheng, B. ; Zhang, Y. Double administration contrôlée d'angiogénine et de curcumine par des nanofibres électrofilées pour la régénération de la peau. Ingénierie des tissus. Partie A 2017, 23, 597-608. [\[Référence croisée\]](#)
124. Kulac, M. ; Aktas, C. ; Tulubas, F. ; Ouïgour, R. ; Kanter, M. ; Erboga, M. ; Céber, M. ; Topcu, B. ; Ozen, OA Les effets du topique Traitement à la curcumine sur la cicatrisation des brûlures chez le rat. J. Mol. Histol. 2013, 44, 83-90. [\[Référence croisée\]](#)

125. Kant, V. ; Gopal, A. ; Kumar, D. ; Pathak, NN ; Béliier, M. ; Jangir, BL; Tandan, Saskatchewan ; Kumar, D. Angiogenèse induite par la curcumine Accélère la cicatrisation des plaies chez les rats diabétiques. J. Surg. Rés. 2015, 193, 978-988. [\[Référence croisée\]](#)
126. Gibran, Nouvelle-Écosse; Boyce, S. ; Greenhalgh, DG Cicatrisation cutanée des plaies. J. Burn Care Rés. 2007, 28, 577-579. [\[Référence croisée\]](#)
127. Épaules, MD ; Raines, structure et stabilité du collagène RT. Ann. Révérend Biochem. 2009, 78, 929-958. [\[Référence croisée\]](#)
128. Longaker, MT; Whitby, DJ ; Adzick, Nouvelle-Écosse; Crombleholme, TM; Langer, JC; Duncan, PC; Bradley, SM ; Poupe, R. ; Ferguson, MWJ; Harrison, MR Études sur la cicatrisation des plaies fœtales VI. Les plaies fœtales du deuxième et du début du troisième trimestre démontrent un dépôt rapide de collagène sans formation de cicatrices. J. Pédiatre. Surg. 1990, 25, 63-69. [\[Référence croisée\]](#)
129. Panchatcharam, M. ; Miriyala, S. ; Gayatri, VS ; Suguna, L. Curcumin améliore la cicatrisation des plaies en modulant le collagène et Diminution des espèces réactives de l'oxygène. Mol. Cellule. Biochimie. 2006, 290, 87-96. [\[Référence croisée\]](#)
130. Leng, QQ; Li, Y. ; Pan, XL ; Wang, BQ; Wu, ZX; Lu, Y. ; Xiong, K. ; Zhao, L. ; Zhou, P. ; Fu, nanoparticules de curcumine SZ Incorporé dans les films composites PVA/collagène favorisent la cicatrisation des plaies. Livraison de médicaments. 2020, 27, 1676-1685. [\[Référence croisée\]](#)
131. Rai, NK; Tripathi, K. ; Sharma, D. ; Shukla, VK Apoptose : un processus physiologique de base dans la cicatrisation des plaies. Int. J. Low. Extrême. Blessures 2005, 4, 138-144. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
132. Welch, député; Odland, GF ; Clark, RAF Relations temporelles entre la formation du faisceau F-Actine, l'assemblage de la matrice de collagène et de fibronectine et l'expression du récepteur de la fibronectine avec la contraction de la plaie. J.Cell Biol. 1990, 110, 133-145. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
133. Montesano, R. ; Orci, L. Le facteur de croissance transformant bêta stimule la contraction de la matrice collagène par les fibroblastes : implications pour Guérison des plaies. Proc. Natl. Acad. Sci. États-Unis 1988, 85, 4894-4897. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
134. Sidhu, GS; Singh, AK ; Thaloor, D. ; Banaudha, KK; Patnaik, GK ; Srimal, RC; Maheshwari, RK Amélioration de la cicatrisation des plaies par la curcumine chez les animaux. Régénération de réparation des plaies. 1998, 6, 167-177. [\[Référence croisée\]](#)
135. Mani, H. ; Sidhu, GS ; Kumari, R. ; Gaddipati, JP; Seth, P. ; Maheshwari, RK La curcumine régule différemment le TGF- β 1, ses récepteurs et l'oxyde nitrique synthase lors d'une cicatrisation altérée des plaies. BioFactors 2002, 16, 29-43. [\[Référence croisée\]](#)
136. Koivisto, L. ; Heino, J. ; Häkkinen, L. ; Larjava, H. Intégrines dans la cicatrisation des plaies. Av. Soins des plaies 2014, 3, 762-783. [\[Référence croisée\]](#)
137. Veiseth, O. ; Tang, Colombie-Britannique ; Whitehead, KA; Anderson, DG ; Langer, R. Gérer le diabète avec la nanomédecine : défis et Opportunités. Nat. Rév. 2014, 14, 45-57. [\[Référence croisée\]](#)
138. Liu, Y. ; Zeng, S. ; Ji, W. ; Yao, H. ; Lin, L. ; Cui, H. ; Santos, HA ; Pan, G. Nanomatériaux théranostiques émergents dans le diabète et ses complications. Av. Sci. 2022, 9, 2102466. [\[Réf. croisée\]](#)
139. Zhao, G. ; Zhang, X. ; Lu, TJ ; Xu, F. Progrès récents dans les échafaudages nanofibreux électrofilés pour l'ingénierie des tissus cardiaques. Av. Fonction. Maître. 2015, 25, 5726-5738. [\[Référence croisée\]](#)
140. Barhoum, A. ; Pal, K. ; Rahier, H. ; Uludag, H. ; Kim, EST ; Bechelany, M. Les nanofibres en tant que matériaux de nouvelle génération : des techniques de fabrication de filage et de nanofilage aux applications émergentes. Appl. Maître. Aujourd'hui 2019, 17, 1–35. [\[Référence croisée\]](#)
141. Zhang, Z. ; Wang, XJ Progrès actuels de l'ingénierie tissulaire basée sur la bioimpression 3D. Quant. Biol. 2017, 5, 136-142. [\[Référence croisée\]](#)
142. Abrigo, M. ; McArthur, SL; Kingshott, P. Nanofibres électrofilées comme pansements pour le soin des plaies chroniques : avancées, défis, et perspectives d'avenir. Macromol. Biosci. 2014, 14, 772-792. [\[Référence croisée\]](#)
143. Rieger, KA; Bouleau, NP ; Schiffman, JD conçoit des tapis en nanofibres électrofilées pour favoriser la cicatrisation des plaies - un examen. J. Mater. Chimique. B 2013, 1, 4531-4541. [\[Référence croisée\]](#)
144. Brennan, DA; Conté, AA; Kanski, G. ; Turkula, S. ; Hu, X. ; Kleiner, MT; Beachley, V. Considérations mécaniques sur les nanofibres électrofilées dans la réparation des tendons et des ligaments. Av. Santé. Maître. 2018, 7, 1701277. [\[Réf. croisée\]](#)
145. Ghafoor, B. ; Aleem, A. ; Najabat Ali, M. ; Mir, M. Examen des techniques de fabrication et des applications de l'électrofilage polymère Nanofibres pour les systèmes d'administration de médicaments. J. Livraison de médicaments. Sci. Technologie. 2018, 48, 82-87. [\[Référence croisée\]](#)
146. Toriello, M. ; Afsari, M. ; Shon, Hong Kong ; Tijing, LD Progrès dans la fabrication et l'application de composites de nanofibres électrofilées. Membranes 2020, 10, 1–35. [\[Référence croisée\]](#)
147. Rasouli, R. ; Barhoum, A. ; Béchelany, M. ; Dufresne, A. Nanofibres pour applications biomédicales et de santé. Macromol. Biosci. 2019, 19, 1800256. [\[Réf. croisée\]](#)
148. Sabra, S. ; Ragab, DM; Agwa, MM; Rohani, S. Progrès récents des nanofibres électrofilées pour certaines applications biomédicales. EUR. J.Pharm. Sci. 2020, 144, 105224. [\[Réf. croisée\]](#)
149. Nayl, A. ; Abd-Elhamid, A. ; Awwad, N. ; Abdelgawad, M. ; Wu, J. ; Mo, X. ; Gomha, S. ; Aly, A. ; Brase, S. Progrès récents et applications biomédicales potentielles des nanofibres électrofilées dans la régénération des tissus et des organes. Polymères 2022, 14, 1508. [\[Référence croisée\]](#)
150. Ekrami, E. ; Khodabandeh Shahraky, M. ; Mahmoudifard, M. ; Mirtaleb, MS ; Shariati, P. Applications biomédicales de l'électrofilage Nanofibres dans le monde industriel : une revue. Int. J. Polym. Maître. Polyme. Biomater. 2022. [\[Référence croisée\]](#)
151. Chen, S. ; Boda, Saskatchewan ; Batra, Saskatchewan ; Li, X. ; Xie, J. Rôles émergents des nanofibres électrofilées dans la recherche sur le cancer. Av. Santé. Maître. 2018, 7, 1701024. [\[Réf. croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
152. Fahimirad, S. ; Abtahi, H. ; Satei, P. ; Ghaznavi-Rad, E. ; Moslehi, M. ; Ganji, A. Performance de cicatrisation des plaies des nanofibres électrofilées à base de PCL/chitosane électropulvérisées avec des nanoparticules de chitosane chargées de curcumine. Glucides. Polyme. 2021, 259, 117640. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
153. Rath, G. ; Hussein, T. ; Chauhan, G. ; Garg, T. ; Goyal, AK Développement et caractérisation de tapis de nanofibres de gélatine composites chargés de nanoparticules d'oxyde de zinc chargées de céfazoline pour les plaies chirurgicales postopératoires. Maître. Sci. Ing. C 2016, 58, 242-253. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)

154. Gurtner, GC; Werner, S. ; Barrandon, Y. ; Longaker, MT Réparation et régénération des plaies. *Nature* 2008, 453, 314-321. [\[Référence croisée\]](#)
[\[Pub Med\]](#)
155. Maleki, H. ; Khoshnevisan, K. ; Sajjadi-Jazi, SM; Baharifar, H. ; Doostan, M. ; Khoshnevisan, N. ; Sharifi, F. Systèmes à base de nanofibres Destiné au diabète. *J. Nanobiotechnology*. 2021, 19, 317. [\[Réf. croisée\]](#)
156. Kenry ; Lim, CT Technologie des nanofibres : état actuel et développements émergents. *Programme. Polyme. Sci.* 2017, 70, 1-17. [\[Référence croisée\]](#)
157. Commence, B. ; Ortiz, T. ; Pérez-Aranda, M. ; Martínez, G. ; Merinero, M. ; Argüelles-Arias, F. ; Alcudia, A. Nanoparticules polymères pour Administration de médicaments : développements récents et perspectives d'avenir. *Nanomatériaux* 2020, 10, 1403. [\[CrossRef\]](#)
158. Guimarães, D. ; Cavaco-Paulo, A. ; Nogueira, E. Conception de liposomes comme système d'administration de médicaments pour des applications thérapeutiques. *Int. J.Pharm.* 2021, 601, 120571. [\[Réf. croisée\]](#)
159. Souto, EB; Yoshida, CMP; Leonardi, GR; Cano, A. ; Sánchez-Lopez, E. ; Zielinska, A. ; Viseras, C. ; Séverino, P. ; da Silva, CF; Barbosa, R. de M. Films lipidiques-polymères : composition, production et applications dans la cicatrisation des plaies et la réparation de la peau. *Pharmaceutique* 2021, 13, 1199. [\[CrossRef\]](#)
160. Henry, LA ; Hart, M. Régénération suite à des blessures et allocation des ressources dans les éponges et les coraux — Une revue. *Int. Rév. Hydrobiol.* 2005, 90, 125-158. [\[Référence croisée\]](#)
161. Liang, Y. ; Lui, J. ; Guo, B. Hydrogels fonctionnels comme pansement pour améliorer la cicatrisation des plaies. *ACS Nano* 2021, 15, 12687-12722.
[\[Référence croisée\]](#)
162. Dumville, JC ; Deshpande, S. ; O'Meara, S. ; Parlez, K. Pansements hydrocolloïdes pour guérir les ulcères du pied diabétique. *Base de données Cochrane Système. Rév.* 2013, 2013, CD009099. [\[Référence croisée\]](#)
163. Ramalingam, N. ; Natarajan, TS; Rajiv, S. Préparation et caractérisation du biomatériau poly(2-hydroxyéthylméthacrylate) chargé de curcumine électrofilée-A pour les organismes multirésistants. *J. Bioméd. Maître. Rés. Partie A* 2015, 103, 16-24.
[\[Référence croisée\]](#)
164. Nguyen, TTT; Ghosh, C. ; Hwang, SG; Tran, LD; Park, JS Caractéristiques des nanofibres poly (acide lactique) chargées de curcumine pour la cicatrisation des plaies. *J. Mater. Sci.* 2013, 48, 7125-7133. [\[Référence croisée\]](#)
165. Ravikumar, R. ; Ganesh, M. ; Ubaidulla, U. ; Jeune Choi, E. ; Tae Jang, H. Préparation, caractérisation et étude de diffusion in vitro de nanofibres électrofilées non tissées de polymère d'acétate de phtalate de cellulose chargé de curcumine. *Pharmacie saoudienne. J.* 2017, 25, 921-926. [\[Référence croisée\]](#)
166. Mohammadi, MR ; Rabbani, S. ; Bahrami, SH; Joghataei, MT ; Moayer, F. Performance antibactérienne et cicatrisation in vivo des plaies diabétiques des nanofibres électrofilées de gomme adragante chargée de curcumine/poly(ϵ -caprolactone). *Maître. Sci. Ing. C* 2016, 69, 1183-1191. [\[Référence croisée\]](#)
167. Ranjbar-Mohammadi, M. ; Bahrami, SH Nanofibres de poly(ϵ -caprolactone)/gomme adragante chargées de curcumine électrofilée SH pour Application biomédicale. *Int. J. Biol. Macromol.* 2016, 84, 448-456. [\[Référence croisée\]](#)
168. Ghaee, A. ; Bagheri-Khoulenjani, S. ; Amir Afshar, H. ; Bogheiri, H. Échafaudages nanocomposites biomimétiques basés sur des nanofibres PCL modifiées en surface contenant de la curcumine incorporée dans du chitosane/gélatine pour la régénération de la peau. *Composer. Partie B Ing.* 2019, 177, 107339. [\[Réf. croisée\]](#)
169. Moradkhannejhad, L. ; Abdous, M. ; Nikfarjam, N. ; Shahriari, MH; Heidary, V. L'effet du poids moléculaire et de la teneur en PEG sur la libération de médicaments in vitro de nanofibres PLA/PEG chargées de curcumine électrofilée. *J. Livraison de médicaments. Sci. Technologie.* 2020, 56, 101554. [\[Réf. croisée\]](#)
170. Mutlu, G. ; Calamak, S. ; Ulubayram, K. ; Guven, E. Nanofibres PHBV électrofilées chargées de curcumine comme pansement potentiel Matériel. *J. Livraison de médicaments. Sci. Technologie.* 2018, 43, 185-193. [\[Référence croisée\]](#)
171. Bui, HT; Chung, Ohio ; Dela Cruz, J. ; Park, JS Fabrication et caractérisation de nanofibres de polycaprolactone-polyéthylène glycol chargées de curcumine électrofilées pour une cicatrisation améliorée des plaies. *Macromol. Rés.* 2014, 22, 1288-1296. [\[Référence croisée\]](#)
172. Mohammadi, Z. ; Sharif Zak, M. ; Majdi, H. ; Mostafavi, E. ; Barati, M. ; Lotfimehr, H. ; Ghaseminasab, K. ; Pazoki-Toroudi, H. ; Webster, TJ ; Akbarzadeh, A. L'effet des nanofibres chargées de chrysine et de curcumine sur le processus de cicatrisation des plaies chez les rats mâles. *Artif. Cellules Nanomed. Biotechnologie.* 2019, 47, 1642-1652. [\[Référence croisée\]](#)
173. Perumal, G. ; Pappuru, S. ; Chakraborty, D. ; Maya Nandkumar, A. ; Chand, DK ; Doble, M. Synthèse et caractérisation du PLA chargé en curcumine - Mélange électrofilé de polyglycérol hyperbranché pour les applications de pansements. *Maître. Sci. Ing. C* 2017, 76, 1196-1204. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
174. Ravikumar, R. ; Ganesh, M. ; Senthil, V. ; Ramesh, YV ; Jakki, SL; Choi, EY Tetrahydro Curcumin Loaded PCL-PEG Electrospun Transdermal Nanofiber Patch : préparation, caractérisation et évaluations de diffusion in vitro. *J. Livraison de médicaments. Sci. Technologie.* 2018, 44, 342-348. [\[Référence croisée\]](#)
175. Shababdoust, A. ; Zandi, M. ; Ehsani, M. ; Shokrollahi, P. ; Foudazi, R. Libération contrôlée de curcumine à partir de nanofibres basées sur Polyuréthanes segmentés à blocs amphiphiles. *Int. J.Pharm.* 2020, 575, 118947. [\[Référence croisée\]](#)
176. Fu, SZ; Meng, XH ; Fan, J. ; Yang, LL; Wen, QL; Oui, SJ ; Lin, S. ; Wang, BQ; Chen, LL; Wu, JB ; et coll. Accélération de la cicatrisation des plaies cutanées grâce à l'utilisation de poly (ϵ -caprolactone) -poly (éthylène glycol) -poly (ϵ -caprolactone) chargé de curcumine électrofilée Tapis fibreux. *J. Bioméd. Maître. Rés. Partie B Appl. Biomater.* 2014, 102, 533-542. [\[Référence croisée\]](#)
177. Lian, Y. ; Zhan, JC; Zhang, KH ; Mo, XM Fabrication et caractérisation de la fibroïne de soie chargée en curcumine/P (LLA-CL) Échafaudage nanofibreux. *Devant. Maître. Sci.* 2014, 8, 354-362. [\[Référence croisée\]](#)

178. Tsekova, PB ; Spasova, MG; Manolova, NE ; Markova, ND ; Rashkov, IB Electrospun Curcumin-Loaded Cellulose Acétate /Polyvinylpyrrolidone Matériaux fibreux avec une architecture complexe et une activité antibactérienne. Maître. Sci. Ing. C 2017, 73, 206-214. [\[Référence croisée\]](#)
179. Celebioglu, A. ; Uyar, T. Toiles nanofibreuses électrofilées à complexe d'inclusion de curcumine/cyclodextrine antioxydante à dissolution rapide. Chimie alimentaire. 2020, 317, 126397. [\[Réf. croisée\]](#)
180. Saeed, SM; Mirzadeh, H. ; Zandi, M. ; Barzin, J. Conception et fabrication de structures électrofilées nanofibreuses multicouches PCL/PVA chargées de curcumine comme pansement actif. Programme. Biomater. 2017, 6, 39-48. [\[Référence croisée\]](#)
181. Esmaeili, E. ; Eslami-Arshaghi, T. ; Hosseinzadeh, S. ; Elahirad, E. ; Jamalpoor, Z. ; Hatamie, S. ; Soleimani, M. Le potentiel biomédical des tapis nanofibreux d'acétate de cellulose/polyuréthane contenant des nanocomposites réduits d'oxyde de graphène/argent et de la curcumine : performances antimicrobiennes et cicatrisation cutanée des plaies. Int. J. Biol. Macromol. 2020, 152, 418-427. [\[Référence croisée\]](#)
182. Pankongadisak, P. ; Sangklin, S. ; Chuysinuan, P. ; Suwantong, O. ; Supaphol, P. L'utilisation de tapis de fibres électrofilées chargées de curcumine en poly (acide L-lactique) comme matériaux de pansement. J. Livraison de médicaments. Sci. Technologie. 2019, 53, 101121. [\[Réf. croisée\]](#)
183. Mahmud, MM; Zaman, S. ; Perveen, A. ; Jahan, RA; Islam, MF; Arafat, MT Libération contrôlée de curcumine à partir de tapis de fibres électrofilées avec activité antibactérienne. J. Livraison de médicaments. Sci. Technologie. 2020, 55, 101386. [\[Réf. croisée\]](#)
184. Suwantong, O. ; Opanasopit, P. ; Ruktanonchai, U. ; Supaphol, P. Tapis de fibres d'acétate de cellulose électrofilées contenant de la curcumine et caractéristique de libération de la substance végétale. Polymère 2007, 48, 7546-7557. [\[Référence croisée\]](#)
185. Liu, Q. ; Zhou, S. ; Zhao, Z. ; Wu, T. ; Wang, R. ; Xu, S. ; Liu, L. ; Xie, R. ; Zheng, Z. ; Li, G. ; et coll. Membranes nanofibreuses de fibroïne de soie/polyéthylèneglycol chargées de curcumine. Thermie. Sci. 2017, 21, 1587-1594. [\[Référence croisée\]](#)
186. Zahiri, M. ; Khanmohammadi, M. ; Goodarzi, A. ; Ababzadeh, S. ; Sagharjoghi Farahani, M. ; Mohandesnezhad, S. ; Bahrami, N. ; Nabipour, moi; Ai, J. Encapsulation de nanoparticules de chitosane chargées de curcumine dans un tapis de fibres de poly (ϵ -caprolactone) et de gélatine pour la cicatrisation des plaies et la reconstitution cutanée en couches. Int. J. Biol. Macromol. 2020, 153, 1241-1250. [\[Référence croisée\]](#)
187. Liao, HT; Lai, Yukon ; Kuo, CY; Chen, JP Une membrane de nanofibres de poly(lactide-co-glycolide)/curcumine alignées greffées par héparine multifonctionnelle bioactive pour accélérer la cicatrisation des plaies diabétiques. Maître. Sci. Ing. C 2021, 120, 111689. [\[Référence croisée\]](#)