



SCIENCES • JEUX PARALYMPIQUES 2024

Paris 2024 : de l'amputation à la prothèse, un long chemin sur lequel la recherche progresse

Par Nathalie Brafman

Publié hier à 06h00, modifié hier à 16h26

Lecture 7 min.

Article réservé aux abonnés

Offrir l'article

DÉCRYPTAGE | Comme un certain nombre d'athlètes, plusieurs milliers de personnes sont amputées chaque année en France. Pour les

accompagner dans leur reconstruction, des innovations scientifiques ont émergé.

Alexis Hanquiquant, Typhaine Soldé, Clément Berthier, Laurent Chardard, Pauline Déroulède, Nélia Barbosa... Tous ces athlètes de haut niveau s'apprêtent à briller lors des Jeux paralympiques de Paris (du 28 août au 8 septembre) dans différentes disciplines. Mais ils ont un autre point commun : tous ont été amputés d'un ou plusieurs membres. Après une attaque de requin à La Réunion pour Laurent Chardard, un sarcome d'Ewing (cancer des os) pour Typhaine Soldé, un accident domestique pour Clément Berthier, une maladie génétique pour Nélia Barbosa, un accident de chantier pour Alexis Hanquiquant, après avoir été fauchée par une voiture pour Pauline Déroulède.

Lire aussi | [En direct, Jeux paralympiques de Paris 2024 : suivez la cérémonie d'ouverture](#)

Combien sont-ils en France chaque année à subir ce que le monde médical appelle des amputations majeures, c'est-à-dire au-dessus du poignet pour le membre supérieur, de la cheville pour le membre inférieur ? Référencées dans des bases de données médicales, ces affections ne font l'objet d'aucun suivi épidémiologique comme le soulignait une étude épidémiologique, publiée en avril 2023 dans *Kinésithérapie, La Revue*. L'article faisait état de 1 616 amputations majeures du membre supérieur et 116 866 amputations majeures du membre inférieur de 2011 à 2020.

LA SUITE APRÈS CETTE PUBLICITÉ

« *Le diabète est la première cause d'amputations des membres inférieurs [elles-mêmes largement majoritaires par rapport aux membres supérieurs] et concerne plutôt des personnes âgées, énonce Gauthier Besson, chef du service de médecine physique et réadaptation (MPR) à l'Institut Robert Merle d'Aubigné à Valenton (Val-de-Marne). Les autres causes sont les accidents de la route, du travail, les cancers et les infections. Le plus souvent chez des sujets jeunes et actifs. Tout comme pour les membres supérieurs, où les deux tiers des amputations sont dues à des accidents. »*

Lire aussi l'entretien (2022) |

[Pauline Déroulède : « Je suis passée d'une vie de sportive de loisir à une vie de sportive de haut niveau »](#)

« Une trentaine d'opérations »

« *Il y a deux timing principaux dans les amputations traumatiques. Celui de l'urgence, parce que l'accident a interrompu la circulation sanguine ou entraîné des dégâts osseux et musculaires tels que l'amputation s'impose d'emblée. Elle peut aussi intervenir plus tard, en tentant dans les cas un peu moins graves dans un premier temps de conserver le membre malgré son délabrement. Mais parfois, il faut s'y résoudre à distance* », explique Laura Marie-Hardy, chirurgienne orthopédique et traumatologique à la Pitié-Salpêtrière (Assistance publique-Hôpitaux de Paris).



L'orthoprothésiste et encadrante d'unité, Laura Rohr, réalise un moulage pour la fabrication d'une nouvelle prothèse, à Valenton (Val-de-Marne), le 22 août 2024. MATHIAS BENGUIGUI / PASCO AND CO POUR « LE MONDE »

C'est ce qu'a connu le triathlète Alexis Hanquiquant, lourdement blessé en 2010 et qui a été amputé trois ans plus tard. Si sa jambe avait bien été sauvée médicalement, elle le faisait trop souffrir au quotidien. *« Ce n'est pas une décision qui allait de soi parce que cette jambe, j'avais vraiment espoir qu'elle soit sauvée. De 2010 à 2013, j'ai subi plus d'une trentaine d'opérations »*, a-t-il reconnu dans un entretien au *Monde*.

Lire aussi l'entretien | [Pour le triathlète Alexis Hanquiquant, « le mot "handicap" n'est plus adapté à notre société »](#)

Pour Gauthier Besson, l'amputation d'un membre inférieur ne saurait être une fin en soi : *« La finalité, c'est de s'en sortir et de reprendre la marche. L'amputation, c'est l'étape pour arriver à la prothèse. L'idéal, c'est de s'entretenir avec le patient et l'équipe chirurgicale avant l'opération pour définir le meilleur niveau d'amputation. »*

Chaque jour de nouvelles grilles de mots croisés, Sudoku et mots trouvés.

Jouer

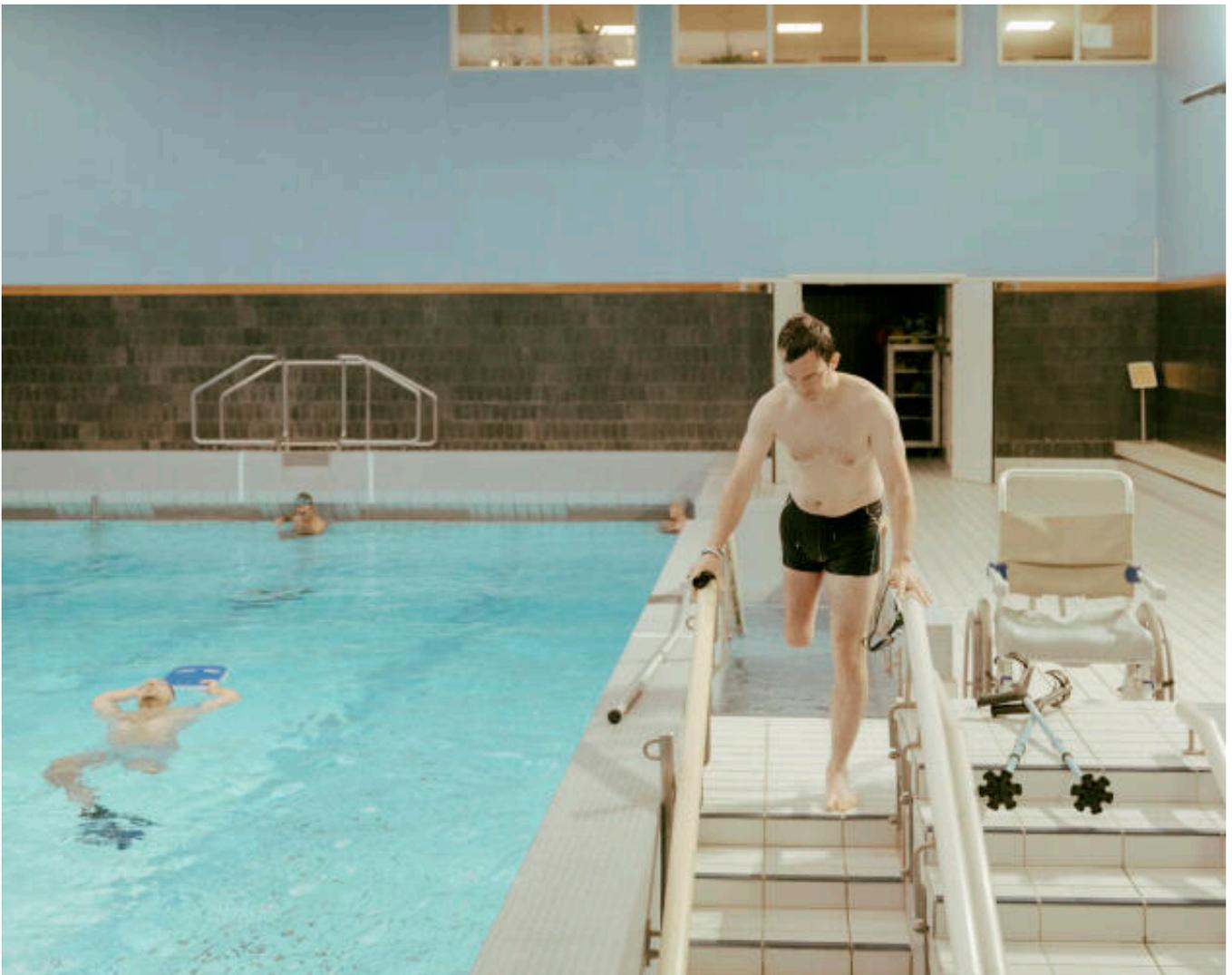
L'une des étapes indispensables est la qualité du moignon. « *La clé, c'est le bandage. Il va permettre de réduire l'œdème et les douleurs, améliorer la cicatrisation et en diminuant de volume, le moignon aura la bonne forme pour rentrer dans l'emboîture de la prothèse* », insiste Gauthier Besson. En moyenne, le patient doit attendre quatre à six semaines pour reprendre la marche avec une prothèse provisoire puis une définitive réalisée avec des matériaux plus résistants et plus légers.

Progrès technologiques

Les prothèses tibiales (sous le genou) sont dites « passives ». Elles se terminent par un pied prothétique qui remplace anatomiquement le pied amputé et dont la particularité est de restituer l'énergie emmagasinée lors de la phase d'appui de la marche. Les prothèses fémorales sont, elles, constituées d'un genou permettant de recréer une articulation pour la marche et la position assise, un tube compensant la hauteur de jambe manquante et un pied fixé au bout du tube pour dérouler le pas pendant la marche. Ces appareils sont pris en charge par la Sécurité sociale.

Lire aussi | [Après une amputation, il n'y a pas qu'une seule façon de s'approprier une prothèse](#)

Les progrès technologiques sont nombreux. L'une des dernières innovations a été mise au point par la société française Proteor. Au prix d'une dizaine d'années de recherche et de plusieurs millions d'euros d'investissement, elle a commercialisé, en juin 2022, Synsys (pour synergie et système), une jambe bionique pour les amputés fémoraux. L'entreprise dijonnaise a bénéficié d'une aide financière de l'Agence de l'innovation de défense du ministère des armées.



La piscine de l'Institut Robert Merle D'Aubigné, à Valenton (Val-de-Marne), le 22 août 2024. MATHIAS BENGUIGUI / PASCO AND CO POUR « LE MONDE »

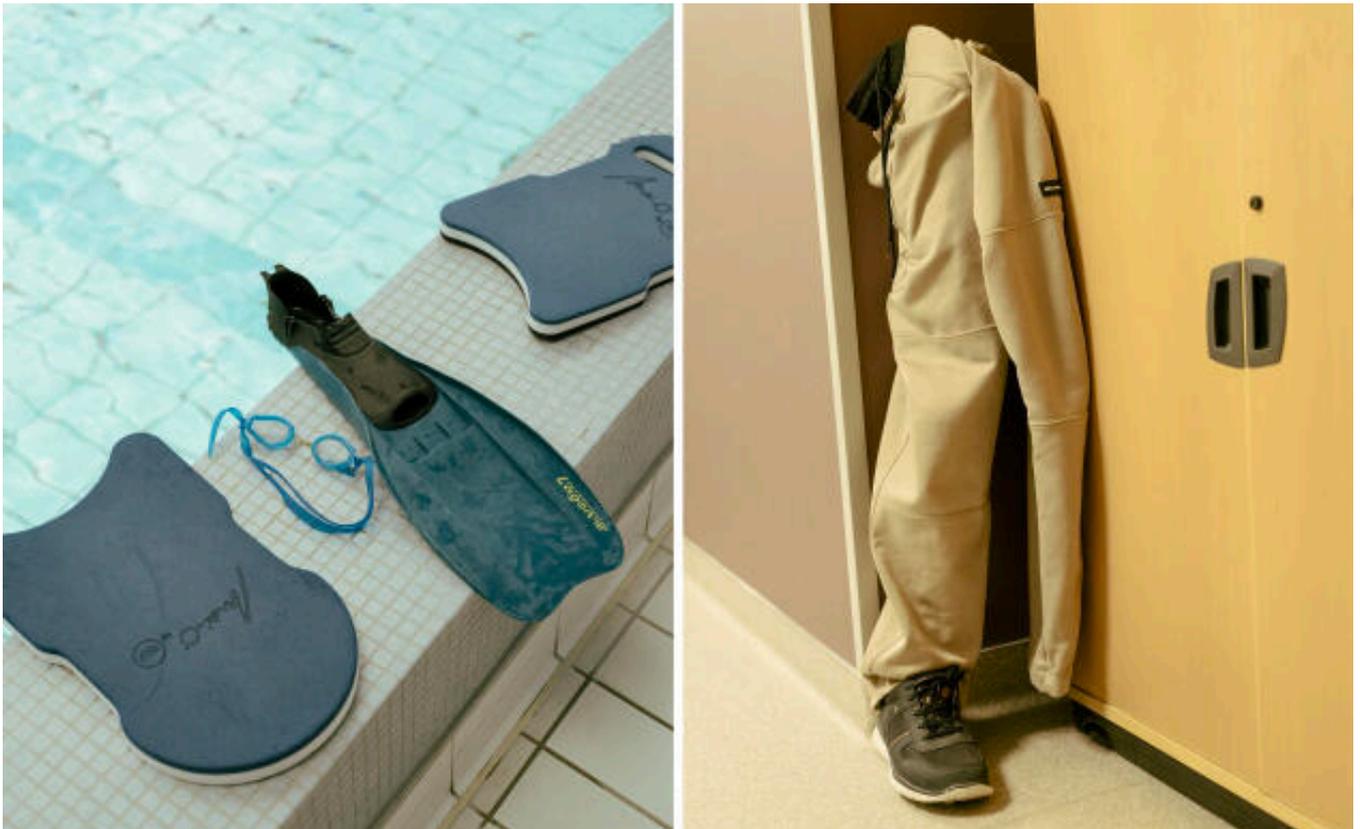
« Synsys est la seule solution au monde à avoir été envisagée comme un système complet genou et cheville. Cette approche biomimétique permet de se rapprocher de la marche humaine de manière plus naturelle », indique-t-on chez Proteor. Le prix de ce produit de luxe avoisine 86 000 euros, un montant non confirmé par la société, qui évoque, elle, plusieurs dizaines de milliers d'euros. Elle négocie actuellement son remboursement avec la Sécurité sociale.

Quant aux prothèses de membres supérieurs, il en existe trois types : esthétique, souvent sans rôle fonctionnel, mécanique (composé de plusieurs outils interchangeables tels que des mains, des crochets ou des pinces) et myoélectrique (commandée par des électrodes posées sur les muscles qui transforment les impulsions en mouvements).

« Reprogrammation du corps »

Marcher avec une prothèse n'est pas une mince affaire. Les débuts sont souvent difficiles. *« C'est très fatigant physiquement et psychiquement. La charge cognitive est très importante, il faut la confirmation que votre jambe est bien tendue, que votre pied est bien à plat, souligne Jean Paysant, médecin MPR et directeur de l'institut régional de réadaptation de Nancy. Pour réduire cette charge mentale, les fabricants introduisent de plus en plus d'automatisme. Par exemple, lorsque vous montez une pente, la prothèse le perçoit et réduit la résistance des articulations grâce à des capteurs d'environnement. »*

Dans l'ouvrage collectif *L'Humain et ses prothèses* (CNRS Editions, 2017), Valentine Gourinat, docteure en sciences de l'information, de la communication et en sciences de la vie explique que marcher après une amputation *« nécessite une véritable reprogrammation du corps, de ses muscles, de ses mouvements. Il faut oublier ce que notre corps savait faire jusque-là, et recommencer différemment »*.



La piscine de l'Institut Robert Merle D'Aubigné, à Valenton (Val-de-Marne), le 22 août 2024. MATHIAS BENGUIGUI / PASCO AND CO POUR « LE MONDE »

Quant aux membres supérieurs, les personnes amputées trouvent souvent moins nécessaire de porter une prothèse : elles s'aperçoivent qu'elles peuvent

faire énormément de choses avec une seule main et utiliser également leur moignon. Le phénomène d'abandon de la prothèse, après l'avoir portée, est d'ailleurs plus important sur le membre supérieur que sur le membre inférieur.

Autre conséquence de l'amputation, les sensations de membre fantôme et de douleurs fantômes. Les premières, appelées aussi « hallucinoses », sont très fréquentes. Elles s'expliquent par le fait que notre cerveau a une représentation précise de notre corps. Si on enlève un membre, il ne l'élimine pas tout de suite. Il lui faut du temps. Aussi étrange qu'elle puisse être, cette perception est sans conséquence.

Thérapie du miroir

En revanche, les secondes (alloghallucinoses), ressenties par 60 % à 85 % des patients, sont plus désagréables, voire insupportables. Longtemps, elles ont été jugées comme étant d'origine psychiatrique. Bien que la cause ne soit pas encore totalement comprise, ces douleurs neuropathiques se caractérisent par des brûlures et des décharges électriques.



Un patient, lors de son premier jour d'hospitalisation après l'amputation de sa jambe, dans le parc de l'Institut Robert Merle D'Aubigné, à Valenton (Val-de-Marne), le 22 août 2024. MATHIAS BENGUIGUI / PASCO AND CO POUR « LE MONDE »

Cyrille Chahboune, qui représentera la France en volley assis, a raconté au *Monde* en février, ces sensations : un pied ou un mollet qui gratte et puis, une nuit, « toutes les 30 secondes, comme si on me plantait un couteau dans la

jambe », décrivait celui qui a été grièvement blessé lors d'une opération militaire en Irak en 2016 lui ayant coûté ses deux jambes.

Lire aussi le portrait | [Paris 2024 : Cyrille Chahboune, ancien commando amputé des deux jambes, s'est reconstruit par le sport](#)

« *La gestion de la douleur s'est améliorée au fil des années, souligne Laura Marie-Hardy. Par exemple, nous infiltrons les nerfs avant de couper le membre afin que la dernière sensation pour le patient soit celle d'un anesthésiant et pas celle d'un sectionnement pour éviter les douleurs de membre fantôme.* » Ces douleurs chroniques sont souvent mal soulagées par les antalgiques classiques, et les médecins ont recours à des antidépresseurs ou à des antiépileptiques pour les apaiser. Mais il existe d'autres traitements. La thérapie du miroir par exemple : le patient fait bouger son membre valide devant le miroir, faisant croire à son cerveau que c'est son autre membre, celui qui est amputé, qui est en mouvement. Les zones cérébrales de la motricité sont activées.

Efficacité de la réalité virtuelle

« *C'est une manière de dire à son cerveau : écoute, j'ai mes deux bras [ou mes deux jambes], tout va bien* », résume Gauthier Besson. Encore faut-il que le membre valide ressemble à son double avant amputation. Par exemple, si la personne avait un tatouage sur son membre amputé, le cerveau risque de ne pas reconnaître celui qui est intact.



Les amputés suivent un planning de sport avec et sans prothèse, à Valenton (Val-de-Marne), le 22 août 2024. MATHIAS BENGUIGUI / PASCO AND CO POUR « LE MONDE »

Une autre méthode fondée sur l'hypnothérapie a pour but de faire prendre conscience au cerveau qu'il manque bien un membre, mais qu'il ne faut « *plus rien lui demander* », résume Gauthier Besson. Des résultats encourageants ont été aussi rapportés dans une méta-analyse publiée dans la revue *Innovations in Clinical Neuroscience* concernant l'efficacité de la réalité virtuelle et augmentée. Mais cette technique nécessite plus d'études et de participants pour améliorer le niveau de preuves.

Et si, à l'avenir, le membre fantôme devenait un atout, en pilotant par exemple une prothèse ? C'est ce à quoi travaillent Nathanaël Jarrassé, chercheur en robotique au sein du laboratoire de l'Institut des systèmes intelligents et de robotique (laboratoire commun Inserm-CNRS) sur le campus parisien Pierre-et-Marie-Curie, et Jozina De Graaf, neuroscientifique, chercheuse à l'Institut des sciences du mouvement de Marseille.

Des nerfs qui « se rebrancheraient »

En collaboration avec des médecins, ils ont mis au point un prototype capable de détecter des contractions musculaires au niveau du moignon, de les associer à un type de mouvement permettant à la personne amputée de commander de manière instinctive un bras prothétique. Une petite révolution, car cette prothèse ne nécessite aucune intervention chirurgicale (pas de pose d'implants).

« On a eu l'idée d'interroger des patients amputés de bras et on s'est aperçu que 75 % d'entre eux gardent des sensations de membre fantôme. Grâce à des capteurs, on a mesuré ce qui se passait sur le moignon. On s'est rendu compte que la mobilité de leur membre fantôme se manifestait par des contractions musculaires au niveau du membre résiduel, et après traitement on peut donc les utiliser », expose Jean Paysant.



Dans la salle d'appareillage des prothèses, à l'Institut Robert Merle D'Aubigné, à Valenton (Val-de-Marne), le 22 août 2024. MATHIAS BENGUIGUI/PASCO AND CO POUR « LE MONDE »

Comment expliquer ce phénomène ? L'hypothèse serait que les nerfs coupés lors de l'amputation « se rebrancheraient » sur les fibres musculaires restantes, comme si une réinnervation musculaire avait eu lieu de façon spontanée. « Nous avons développé des algorithmes capables de décoder en temps réel ce

que le membre fantôme réalise comme mouvements à partir de contractions musculaires sur son moignon », explique Nathanaël Jarrassé.

Muni de capteurs posés sur son moignon et reliés à une prothèse installée à côté de son bras amputé, le patient maîtrise ses mouvements, ouvre la main, prend un objet, le lâche. Un appareil qui s'adapterait exactement à ce que le patient amputé veut faire et non l'inverse. Les chercheurs y croient.

Nathalie Brafman