

Toulouse, le 4 septembre 2026

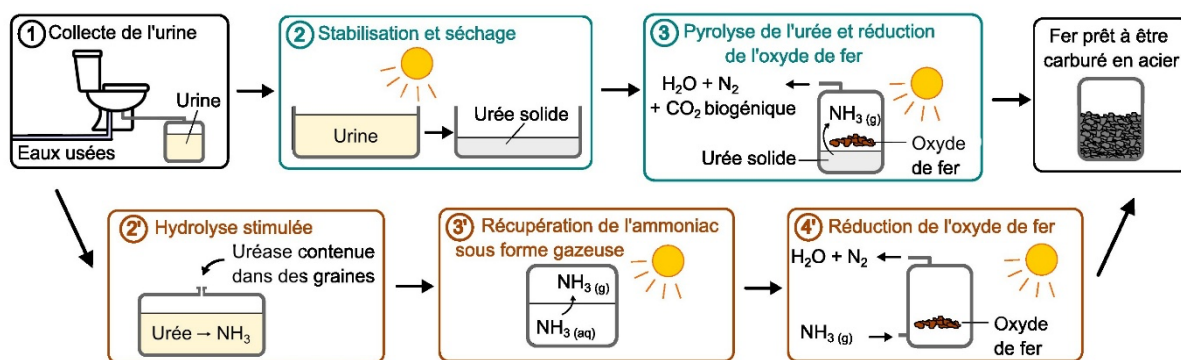
Communiqué de presse

Un laboratoire toulousain développe un procédé *low-tech* de métallurgie basée sur l'utilisation d'urine et d'énergie solaire concentrée.

Produire du fer grâce aux rayons du Soleil et... à l'urine ? C'est une idée insolite formulée il y a une dizaine d'années par des scientifiques du Laboratoire de physique et chimie des nano-objets (LPCNO – CNRS, INSA Toulouse, Université de Toulouse), aujourd'hui devenue concrète. Leur méthode *low-tech* remplace le charbon d'origine fossile et le charbon de bois des procédés métallurgiques. Leurs travaux, publiés le 29 août 2026 dans *Journal of Cleaner Production*, ouvrent la perspective d'une métallurgie à petite échelle qui n'utiliserait pas d'énergies fossiles et serait moins prédatrice des forêts.

La métallurgie consiste à transformer le minerai d'oxyde de fer extrait de mines en acier. Ce procédé millénaire utilise du charbon fossile ou du charbon de bois. Le carbone contenu dans ces derniers a un double rôle : le premier est chimique et le second producteur de chaleur. Dans le procédé mis au point au LPCNO, la chaleur est apportée directement par la concentration d'un rayonnement lumineux et les molécules chimiques nécessaires proviennent de l'urine. Ce procédé, faiblement émetteur de carbone, ne nécessite ni électricité, ni charbon fossile, ni bois, et se base sur des ressources accessibles partout sur la planète : du soleil et de l'urine. Il est donc en parfaite adéquation avec la philosophie *low-tech* qui a animé les scientifiques à l'origine de l'étude, qui œuvrent au développement de technologies sobres et résilientes pour un monde post-croissance.

Marion Luu, qui a effectué son doctorat au LPCNO sur ce sujet : « Nous avons montré que l'urine peut être une bonne source d'ammoniac, qui est lui-même un réducteur de l'oxyde de fer. Nous avons étudié deux méthodes différentes pour produire l'ammoniac à partir d'urée : l'une consistant à chauffer l'urée à l'aide du rayonnement solaire et l'autre consistant à stimuler la décomposition de l'urée à l'aide de graines broyées. Et ces deux méthodes nous ont permis de produire du fer ! ».



Ce schéma montre le principe d'un procédé permettant de réduire de l'oxyde de fer à partir d'urine et d'énergie solaire concentrée. Deux voies possibles pour produire de l'ammoniac sont représentées : en haut, la pyrolyse de l'urée ; en bas, la décomposition de l'urée en solution aqueuse, stimulée par des graines broyées. Dans l'article publié par Pietraru et al., les étapes 3, 2', 3' et 4' ont été étudiées, tandis que les étapes 1 et 2 ont déjà été étudiées dans la littérature.

Sébastien Lachaize, enseignant-chercheur INSA au LPCNO et co-auteur de l'étude : « Ces travaux sont l'aboutissement d'un projet et d'une idée que nous avons eus il y a presque dix ans, en nous demandant à quoi ressemblerait une recherche scientifique en *low-tech*. Nous avons commencé par montrer que la réduction de l'oxyde de fer sous flux lumineux concentré était possible avec de l'hydrogène, puis de l'ammoniac, et enfin maintenant de l'urée. »

Julian Carrey, enseignant-chercheur INSA au LPCNO et co-auteur de l'étude : « *Nous souhaitons nous attaquer à la métallurgie du fer car c'est un procédé très proche des besoins fondamentaux des humains, mais dont le principe de base n'a pas évolué depuis des millénaires et repose sur l'utilisation du carbone. Nous souhaitons montrer qu'une métallurgie low-tech qui ne soit pas basée sur le carbone est possible. Le procédé ne contribuerait ainsi ni à la déforestation ni à l'épuisement des énergies fossiles.* ».

Les scientifiques ont estimé la quantité maximale de métal qui pourrait être produite à l'aide de ce procédé, si l'entièreté de l'urine humaine lui était consacrée : une quinzaine de kilos par an et par personne, soit une quantité bien plus faible que l'acier produit actuellement (environ 250 kg/an et par personne). Les scientifiques à l'origine du projet argumentent que la quantité considérable d'acier produite actuellement est dans tous les cas incompatible avec l'habitabilité de la planète sur le long terme et qu'elle doit impérativement décroître fortement.

Un tel projet de recherche vise ainsi à alimenter les réflexions sur le système technique d'une société post-croissance, qui serait à la fois pérenne, équitable et conviviale, et basée sur des technologies *low-tech*. L'équipe scientifique espère que leurs résultats vont encourager d'autres laboratoires à aborder leurs thématiques de recherche sous cet angle *low-tech*, afin de prendre en compte l'urgence écologique et climatique, dont on perçoit jour après jour plus fortement les conséquences sur nos vies.

Marie-Hélène Pietraru, post-doctorante au LPCNO : « *Face à l'urgence climatique et écologique, il nous semble que les questions de recherche doivent se poser différemment. Nous prônons une nouvelle manière d'aborder la recherche scientifique, qui prenne en compte les limites planétaires et qui soit pertinente pour un monde post-croissance. La recherche scientifique sur la décroissance a jusqu'à présent été principalement effectuée par les économistes. Nous essayons de montrer par cet article que les sciences naturelles et l'ingénierie sont nécessaires dans ce nouveau paradigme.* ».

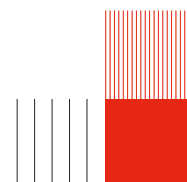
Compléments scientifiques

► La métallurgie consiste à transformer l'oxyde de fer (Fe_2O_3) en fer (Fe) à l'aide d'un réducteur chimique, qui est traditionnellement le carbone, suivant ainsi l'équation $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3/2 \text{C} \rightarrow 2 \text{Fe} + 3/2 \text{CO}_2$. Il est possible d'utiliser des réducteurs sans carbone, tels que l'hydrogène ou l'ammoniac. Dans ce cas, il n'y a pas d'émissions de CO_2 lors du procédé. C'est actuellement la voie envisagée par l'industrie pour décarboner ce procédé. Néanmoins, dans le procédé industriel envisagé aujourd'hui, produire l'hydrogène ou l'ammoniac nécessite des procédés *high-tech* basés sur l'utilisation de quantités très importantes d'électricité. Ainsi, le LPCNO avait calculé, dans un article publié en 2025, qu'il faudrait entre 1/5 et 1/4 de la production d'électricité mondiale pour décarboner la métallurgie en utilisant ce procédé [1].

► Pour remplacer le charbon en tant que source de chaleur, le principe consiste à concentrer les rayons du soleil à l'aide de grands réflecteurs pour élever la température d'un réacteur ; il s'agit du « solaire à concentration ». Ce principe peut être utilisé à l'échelle domestique pour cuisiner [2], mais également à plus grande échelle pour produire de l'électricité. Il y a plusieurs centrales de ce type en Espagne ou en Afrique du Nord. Le principe de ces centrales solaires pourrait être utilisé pour la production métallurgique. A PROMES, au four solaire d'Odeillo, des collaborateurs du LPCNO ont réalisé des expériences et développé des modèles montrant que cela était possible [3-5].

► Le composant principal de l'urine est l'urée, à une concentration moyenne d'environ 20 g/L. L'urée se décompose en ammoniac sous l'effet de la chaleur ou d'une enzyme, l'uréase, qu'on trouve dans certaines plantes et certaines bactéries. Ces bactéries contenant l'uréase peuvent se développer au cours du temps dans de l'urine stockée ou dans les eaux usées, et donc permettre la décomposition de l'urée en ammoniac dans l'urine sans ajout de produit chimique supplémentaire. Dans leur article, les scientifiques du LPCNO ont montré qu'on pouvait accélérer considérablement la décomposition d'urée en ammoniac en rajoutant à l'urine des graines broyées de soja ou de pastèque. Les auteurs de l'étude ont également montré que l'on peut décomposer l'urée en la soumettant à un flux lumineux concentré qui va permettre de la chauffer. Quelle que soit la méthode utilisée, l'ammoniac ainsi produit permet de transformer l'oxyde de fer en fer.

► Actuellement, le procédé métallurgique le plus courant, réalisé dans des haut-fourneaux, est basé sur l'utilisation de charbon. Ce procédé conduit à l'émission de 2,2 tonnes de CO_2 par tonne d'acier produit. Plus généralement, les 2 milliards de tonnes d'acier produites par an sont responsables de 8% des émissions de CO_2 mondiales.



► Les *low-techs*, qui ont été popularisées en France par Philippe Bihouix [6], sont des technologies qui sont adaptées aux enjeux écologiques et sociaux de notre temps. Dans un article publié en 2021, les scientifiques du LPCNO et leurs collaborateurs ont défini une technologie *low-tech* comme une « brique élémentaire d'une société pérenne, équitable et conviviale » [7]. La recherche scientifique en *low-tech* est actuellement peu développée, mais on peut signaler deux articles écrits par des équipes françaises, l'un sur les *low-techs* en général [8], et l'autre sur les *low-techs* en médecine [9].

[1] "Towards solar metallurgy: Iron ore reduction by ammonia under concentrated light flux", M. Luu, B. Sanglard, S. Lachaize, J. Carrey, Solar Energy 287, 113250 (2025)

[2] « Décarboner notre façon de cuisiner : la parabole solaire est-elle une bonne option ? », J. Carrey, B. Sanglard, L. Tiruta-Barba, S. Lachaize, The Conversation, 4 juin 2024. "Life cycle assessment of a parabolic solar cooker and comparison with conventional cooking appliances", B. Sanglard, S. Lachaize, J. Carrey and L. Tiruta-Barba, Sustain. Prod. and Cons. 42, 211 (2023)

[3] "A Novel Rotary-Cavity Reactor for Sustainable Solar Metallurgy: Design and Experimental Demonstration of Direct Reduction of Iron Ore". S. Abanades, R. Garcia et J. Cong, Chemical Engineering Journal 505, 159441 (2025).

[4] "Solar-Aided Direct Reduction of Iron Ore with Hydrogen Targeting Carbon-Free Steel Metallurgy". S. Abanades et S. Rodat, Renewable Energy 235, 121297 (2024).

[5] "Dynamic Simulation of a Solar-Based Iron Producing Plant Using Hydrogen as Reductant", D. Jaffré, S. Rodat et S. Abanades, Chemical Engineering Science 320, 122429 (2026).

[6] "L'âge des low-techs", Philippe Bihouix, Le seuil (2014)

[7] "Les low-techs comme objet de recherche scientifique. Vers une société pérenne équitable et conviviale", J. Carrey, S. Lachaize, G. Carbou, La pensée écologique (2021)

[8] "Low-tech approaches for sustainability: key principles from the literature and practice", A. Tanguy, L. Carrière and V. Laforest, Sustainability: Science, Practice and Policy 19, 2170143 (2023).

[9] "Low-tech medicine: Enhanced definition and scope. A narrative review », T. Daly, D. Vaidis, J. Brunier et al., Adv Clin Exp Med., doi:10.17219/acem/224445 (2026)

Article scientifique :

« *Natural sciences for post-growth in practice: low-tech iron oxide reduction under a concentrated light flux using urine-derived ammonia and hydrogen as reducers* »

M.-H. Pietraru, M. Luu, J. P. Smit, S. Lachaize, J. Carrey

J. Clean. Prod. 576, 149114 (2026)

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652626016550>

Contacts presse :

Julian Carrey : julian.carrey@insa-toulouse.fr

Sébastien Lachaize : slachaiz@insa-toulouse.fr, 06 89 57 68 34

À propos du LPCNO :

Le Laboratoire de physique et chimie des nano-objets (LPCNO – CNRS, INSA Toulouse, Université de Toulouse) est un laboratoire de recherche pluridisciplinaire dans le domaine des nanosciences. Ses recherches couvrent notamment l'optique quantique, le nanomagnétisme, les nanotechnologies, la chimie organométallique et la chimie théorique, avec des applications potentielles dans de nombreux secteurs tels que les communications, les transports, les capteurs, la santé et l'environnement.

INSA Toulouse

135 avenue de Rangueil – 31077 TOULOUSE Cedex 4 - France

Tél. + 33 (0)5 61 55 95 13 - Fax + 33 (0)5 61 55 95 00

www.insa-toulouse.fr

