

# DES BACTÉRIES POUR TRIER LES TERRES RARES

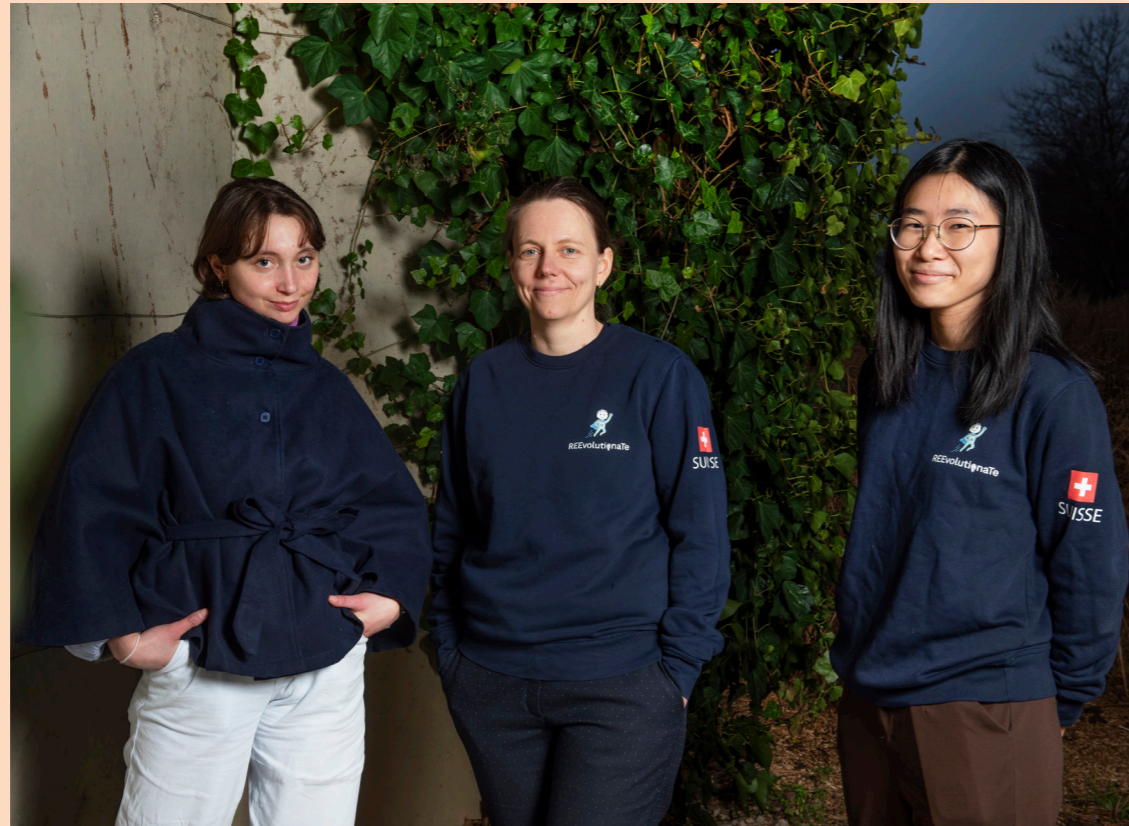
Elles font tourner les éoliennes, vibrer les smartphones et rouler les voitures électriques. Les terres rares sont devenues incontournables pour l'électronique moderne, et l'Europe dépend largement de leur importation. À l'Unil, une équipe d'étudiantes et d'étudiants explore une nouvelle voie : récupérer ces métaux des déchets électroniques à l'aide de bactéries.

Ce n'était pas la première fois que la biologiste Yolanda Schaerli accompagnait une équipe d'étudiantes et d'étudiants au concours international iGEM (*lire l'encadré*). Ce n'était pas non plus la première fois que ses protégés y remportaient de nombreux prix. Pourtant, l'édition de 2025 marquait une première pour la professeure associée au Département de microbiologie fondamentale de l'Unil.

Après la grande finale à Paris de cette compétition en biologie synthétique, trois membres de son équipe de treize étudiantes et étudiants de *bachelor* et de *master* en biologie ont décidé d'aller au-delà de l'épreuve académique. Début 2026, Emma Castelli, Chloé Shan, ensemble avec leur collègue Julien Vujevic Martinez, ont lancé la start-up CaptuREE. Leur ambition : mettre au point une technologie de recyclage des terres rares, à la fois durable et économiquement viable.

Sans ces métaux, pas d'aimants puissants pour les moteurs électriques, pas d'écrans, pas d'éoliennes. Pourtant, l'Europe dépend largement des importations pour s'en approvisionner. « Aujourd'hui, l'essentiel du raffinage mondial des terres rares est contrôlé par la Chine. La capacité de recyclage, surtout en Europe, reste très limitée », constate Emma Castelli. Plus précisément : environ 1 %, selon la Commission européenne.

À l'heure des fortes incertitudes géopolitiques, cette dépendance n'inquiète pas seulement les décideurs politiques. Les étudiantes et



étudiants de l'Unil aussi prennent la question d'une souveraineté européenne au sérieux. Leur point de départ est une question simple : peut-on récupérer ces éléments autrement qu'en ouvrant de nouvelles mines ?

## Pas si rares, mais capricieuses

Détail important : le nom des terres rares est trompeur. « Elles ne sont pas vraiment rares dans la croûte terrestre, explique Emma Castelli. Mais elles se présentent généralement dispersées ou mêlées à d'autres minerais, plutôt que dans des gisements concentrés. » Le groupe rassemble 17 métaux aux propriétés

## ÉQUIPE

Emma Castelli (à gauche) et Chloé Shan (à droite), cofondatrices de CaptuREE, avec la professeure Yolanda Schaerli (au centre).

Nicole Chuard © UNIL

voisines : le scandium, l'yttrium et quinze éléments appelés lanthanides. D'un blanc argenté et brillant, ils présentent des caractéristiques presque indiscernables les uns des autres.

Pour utiliser ces métaux dans l'industrie, il faut d'abord les extraire puis les purifier. Un processus long et complexe, qui mobilise de grandes quantités de solvants chimiques, ce qui le rend énergivore et polluant. Le peu de recyclage des déchets électroniques qui se fait aujourd'hui suit souvent un chemin comparable : les composants contenant des terres rares sont d'abord démontés et broyés,

avant que les métaux puissent être dissous et séparés. Cela implique de nombreux transports, car les différentes étapes du traitement sont souvent réparties entre plusieurs sites industriels. Les matériaux intermédiaires doivent ainsi être acheminés d'un site à l'autre. Mais l'étape la plus complexe reste la séparation de ces éléments aux propriétés chimiques quasi identiques.

## Des protéines qui trient les métaux

C'est ici qu'intervient l'idée *born at Unil*. « Certaines bactéries possèdent des protéines capables de reconnaître des terres rares très spécifiques, explique Emma Castelli. Dans la nature, ces microbes vivent parfois à proximité de mines – ils se sont adaptés à cet environnement riche en métaux. » C'est précisément cette capacité biologique que les jeunes entrepreneuses et entrepreneur entendent exploiter.

Ils cultivent des bactéries produisant ces protéines au laboratoire. Les molécules sont ensuite isolées et fixées sur des matériaux afin de capturer sélectivement des terres rares. « L'objectif n'est pas d'utiliser des bactéries vivantes, précise Yolanda Schaerli. Mais d'exploiter les protéines qu'elles fabriquent. » Le processus repose sur une série d'étapes de séparation reliées les unes aux autres. Le matériau issu du recyclage de déchets électroniques y circule successivement, chaque étape étant conçue pour capter sélectivement un type précis de terre rare. Les éléments ainsi triés peuvent ensuite être traités pour être réutilisés.

L'idée a vu le jour sous le nom « REEvolutionaTe » dans le cadre du concours iGEM, qui encourage les étudiantes et les étudiants à développer des projets de biologie synthétique appliquée. « Le but était d'y réaliser un premier *proof-of-principle* », note Yolanda Schaerli. Pour que la technologie puisse être déployée à grande échelle, elle doit encore être

**« CERTAINES BACTÉRIES POSSÈDENT DES PROTÉINES CAPABLES DE RECONNAÎTRE DES TERRES RARES TRÈS SPÉCIFIQUES. DANS LA NATURE, CES MICROBES VIVENT PARFOIS À PROXIMITÉ DE MINES – ILS SE SONT ADAPTÉS À CET ENVIRONNEMENT RICHE EN MÉTAUX. »**

EMMA CASTELLI, étudiante en *master* de biologie et cofondatrice de CaptuREE

perfectionnée : les protéines bactériennes doivent notamment gagner en sélectivité afin de distinguer plus finement les différents éléments chimiques. Une optimisation par ingénierie moléculaire qu'Emma Castelli poursuit dans le cadre de son travail de *master*.

Pour elle, le projet iGEM n'était qu'un point de départ. Très vite, elle s'est intéressée à la viabilité économique de la stratégie élaborée avec ses collègues. Le concours a pourtant constitué un bon entraînement pour la suite, relève de son côté Chloé Shan, surnommée le « couteau suisse » du trio, forte de ses compétences variées : « Dans le cadre d'iGEM, nous avons mené plusieurs activités de vulgarisation scientifique, comme des ateliers dans des écoles ou un week-end au Musée de la main – un excellent exercice pour apprendre à *pitcher* notre projet aux potentiels investisseurs. »

## Les besoins du marché

Pendant leur étude rigoureuse du marché, les étudiantes et les étudiants ont rencontré plusieurs grands acteurs du domaine – notamment dans l'industrie automobile. Leur constat est clair : avec les technologies actuelles, difficile voire impossible de construire une chaîne d'approvisionnement durable pour les terres rares en Europe. Avec CaptuREE, les Uniliennes et Uniliens veulent précisément combler cette lacune.

Leur approche se distingue d'autres pistes de recyclage actuellement explorées, par exemple à

Zurich (« REEcover »). Plutôt que de créer une nouvelle étape industrielle, les étudiantes et étudiants envisagent d'intégrer leur technologie dans des sites métallurgiques existants. Ces fonderies constituent un passage obligé dans la purification des terres rares : une fois séparées chimiquement, elles doivent y être transformées pour devenir des métaux utilisables dans l'industrie. « Notre objectif est d'implémenter la technologie directement sur place, explique Emma Castelli. Cela évite d'ajouter un transport supplémentaire pour des produits intermédiaires et de devoir construire encore un site industriel. » Un exemple de leur vision : parvenir à une chaîne de recyclage simple, avec une empreinte carbone la plus faible possible.

Une chose apparaît rapidement dans la discussion avec l'équipe fondatrice : les étudiantes et étudiants se sont pleinement investis dans leur aventure entrepreneuriale. En plus de leurs études, ils enchaînent *boot camps*, ateliers de *pitch* et rencontres avec des potentiels partenaires industriels.

Dernières avancées en date : deuxième place au EPFL Sustainable Innovation Challenge, passage à la phase II du programme d'accompagnement UCreate de l'Unil et participation aux incubateurs Talent Kick et cours VentureLab pour développer leur start-up. À la question « Pourquoi créer une entreprise à un âge où beaucoup terminent à peine leurs études ? », le trio répond d'une seule voix : « Justement : pourquoi pas ? » **KLARA SOUKUP**

## L'UNIL À L'IGEM

Chaque année, le concours iGEM (International Genetically Engineered Machine) réunit des étudiantes et étudiants du monde entier autour de projets de biologie synthétique. Les équipes lausannoises remportent régulièrement médailles et distinctions pour leurs projets appliqués à des enjeux actuels. En 2024, la lutte biologique contre le frelon asiatique (« V.E.S.P.A. »). En 2022, le contrôle de la moule quagga dans les lacs suisses (« Quagg'out »). En 2021, la protection des abricotiers valaisans du gel (« Aprifreeze »).