

Recycler des déchets par séparation triboélectrique

Depuis une vingtaine d'années, le traitement des déchets d'équipements électriques et électroniques devient une question importante. Le recyclage du plastique pose un problème particulier car, après extraction des métaux, il est difficile de séparer les différents types de plastiques, opération pourtant nécessaire pour leur réutilisation.

La séparation électrostatique est une solution envisagée. Ses développements récents donnent des résultats encourageants. Dans un séparateur triboélectrostatique classique, les mélanges de plastiques sous forme de granules, de taille inférieure à cinq millimètres, sont chargés par effet triboélectrique. Ils sont placés soit dans des dispositifs produisant des contacts répétés entre les granules

et les parois du dispositif – des goulottes oscillantes, des cylindres rotatifs –, soit dans des lits fluidisés, systèmes de soufflerie permettant un brassage des granules.

Une fois les granules chargés, un champ électrique est appliqué. Il est créé entre deux plaques métalliques écartées verticalement de 10 à 20 centimètres et reliées à un générateur de tension de plusieurs dizaines de kilovolts. Les forces exercées par le champ électrique dirigent les granules chargés vers des compartiments distincts du collecteur de produits.

Le séparateur tribo-aéro-électrostatique récemment breveté par l'Université de Poitiers et la Société APR2 réalise le tri sélectif des mélanges de matériaux isolants granulaires dans un lit fluidisé en présence

d'un champ électrique orienté perpendiculairement à la direction de l'air de fluidisation.

L'originalité de ce dispositif est la simultanéité des deux opérations : d'une part, la charge triboélectrique des granules par collisions dans le lit fluidisé, d'autre part, la séparation électrostatique de ces granules dans le champ électrique intense créé par deux bandes transporteuses métalliques connectées à deux générateurs de haute tension continue, de polarités respectivement positive et négative.

Une fois qu'un granule est suffisamment chargé, il est attiré vers l'électrode de polarité opposée, bande transporteuse qui l'évacuera vers le collecteur de produits. Les granules non chargés ne peuvent pas quitter

la zone de charge, ce qui garantit la pureté des produits collectés.

Par ailleurs, chaque granule ne reste dans la zone de charge que le temps minimum nécessaire à l'acquisition d'une charge suffisante pour qu'il soit attiré par l'une des électrodes, ce qui assure aussi l'optimisation du débit des matériaux traités. En fonction des conditions environnantes et de l'état des matériaux granulaires, le temps de charge varie. Le débit peut être adapté en fonction du temps nécessaire à la charge. Le pilote industriel de cette installation est capable de traiter une quantité de 600 kilogrammes de déchets par heure.

Lucien Dascalescu

Institut PPRIME, UPR 3346, CNRS, Université de Poitiers, ENSMA

polymère correspond à la situation où une petite zone d'un polymère est en contact avec une zone plus étendue de l'autre). Le signe de la charge dépend des matériaux en jeu.

J'ai proposé un mécanisme d'échange de charges entre matériaux identiques en m'appuyant sur l'idée que plus la force appliquée est intense, plus la matière transférée peut être profonde. Avec un frottement asymétrique, les forces appliquées à chaque surface sont inégales, si bien que du matériau issu de différentes profondeurs serait transféré. Comme la composition des polymères varie souvent avec la profondeur, cette asymétrie entraînerait le transfert de matériau de différentes compositions, ce qui donnerait des charges nettes de différents signes dans les surfaces séparées.

Il est aussi possible que, selon les caractéristiques de la force mécanique appliquée, il y ait de petites différences dans les réactions chimiques. Il pourrait alors en résulter, sur les deux surfaces, des compositions en polymères ionisés suffisamment différentes.

Ce scénario se comprend aisément pour un frottement asymétrique. Dans le cas d'une action symétrique, de petites asymétries involontaires suffiraient à obtenir une composition asymétrique. Ce mécanisme s'appliquerait aussi à un contact entre matériaux différents et contribuerait à une

meilleure compréhension du mécanisme général de transfert de matériau. Des différences de dureté pourraient aussi conduire à un transfert asymétrique de matériau.

La charge triboélectrique de matériaux de composition identique se produit par exemple avec les particules en suspension, comme dans les tempêtes de sable, les fumées des éruptions volcaniques et la manipulation industrielle de poussières fines. Là encore, ces phénomènes pourraient résulter de contacts asymétriques dus à des différences de taille des particules, les grosses particules se chargeant positivement et les petites négativement. Le scénario exact reste à déterminer.

Une meilleure compréhension

Les expériences de ces dernières années ont permis de progresser dans la compréhension du phénomène triboélectrique. Par ailleurs, il y a un besoin croissant de créer des matériaux qui ne se chargent pas par contact, notamment à cause de la miniaturisation de l'électronique, qui rend les circuits de plus en plus sensibles aux dégâts d'une décharge, même faible. Les nombreuses questions que soulève encore la triboélectricité suggèrent qu'une approche pluridisciplinaire, mettant en œuvre à la fois physique et chimie, pourrait bientôt porter ses fruits. ■

■ BIBLIOGRAPHIE

M. W. Williams, *Triboelectric charging of insulating polymers – some new perspectives*, *AIP Advances*, vol. 2, 010701, 2012.

T. A. L. Burgo *et al.*, *Triboelectricity : macroscopic charge patterns formed by self-arraying ions on polymer surfaces*, *Langmuir*, vol. 28(19), pp. 7407-7416, 2012.

H. T. Baytekin *et al.*, *The mosaic of surface charge in contact electrification*, *Science*, vol. 333, pp. 308-312, 2011.

L. Calin et L. Dascalescu, *Procédé de séparation électrostatique d'un mélange de granules de matériaux différents et dispositif de mise en œuvre*, Brevet FR2943561, 2010.

L. S. McCarty et G. M. Whitesides, *Electrostatic charging due to separation of ions at interfaces*, *Angewandte Chemie International Edition*, vol. 47, pp. 2188-2207, 2008.

Sur El Hierro, une île des Canaries, des dispositifs innovants sont mis en place pour la gestion de la biodiversité, de l'eau et de l'énergie.

El Hierro,



Alain Gioda, Carlos Recio et Luis Santana

Les îles abritent quelque 600 millions de personnes dans le monde. Les doter d'un fonctionnement écologique est donc un enjeu majeur. En outre, elles constituent des systèmes plus fermés que les continents et peuvent servir de laboratoire pour tester diverses initiatives en matière de développement durable. Leur isolement est aussi un inconvénient, notamment parce que leur réseau électrique est parfois impossible à raccorder à celui du continent.

C'est le cas de l'île d'El Hierro, un petit bout de terre aride d'environ 270 kilomètres carrés (soit deux fois et demie la superficie de Paris), dans l'archipel des Canaries. Les habitants de l'île ont longtemps été d'une extrême pauvreté. De nombreux émigrants s'y embarquaient clandestinement pour l'Amérique ou s'installaient sur les îles voisines de Tenerife et Grande Canarie, surtout pendant les sécheresses. Aussi l'île n'abritait-elle que 7 200 habitants au début des années 1990. Toutefois, moins de 20 ans plus tard, la population est montée jusqu'à 11 000 habitants (avant de diminuer un peu avec la crise économique

espagnole). Cela correspond à la plus forte progression démographique des Canaries durant cette période. Pourtant, ni tourisme de masse ni boom économique n'en sont la cause. Comment expliquer qu'El Hierro ait soudain attiré de nombreux immigrants ?

Sous l'impulsion de Tomás Padrón, ingénieur électricien et figure politique locale, l'île s'est dotée d'un ensemble unique, à la fois pour la préservation de la biodiversité et pour la production d'énergie : dès cette année, l'électricité y sera essentiellement produite de façon renouvelable et sans émission de dioxyde de carbone, cela sans qu'un raccordement à un réseau continental permette de gérer l'intermittence des énergies renouvelables ; ce sera la seule île au monde dans ce cas. En outre, des dispositifs de captage de l'eau du brouillard y ont été installés. El Hierro est-elle un modèle reproductible à grande échelle sur les îles et sur les continents ?

Depuis 1796, date du premier recensement dans les Canaries, la population d'El Hierro a seulement doublé. Elle augmente au maximum de 20 pour cent en période

touristique, soit moins de 2 500 touristes par mois. Ces chiffres sont à comparer à la multiplication par 13 de la population des Canaries depuis 1796 et aux 10,3 millions de touristes accueillis en 2011 par l'archipel. À la Grande Canarie, les aménagements ont été si importants qu'il ne subsiste que un pour cent de la forêt originelle. En outre, le milieu est globalement aride dans l'archipel, de sorte que sa biodiversité est fragile. À El Hierro, l'absence d'explosion démographique a permis une bonne conservation du milieu et des activités traditionnelles.

Une réserve de la biosphère

En conséquence, l'île a été classée réserve de la biosphère par l'Unesco en 2000. Ce statut désigne une zone conciliant la préservation de la biodiversité et les activités humaines. Il est moins contraignant que celui de parc national, notamment pour les activités humaines : ainsi, toute l'île est incluse dans la réserve, mais elle se partage entre des zones dites centrales, où les

île écologique modèle ?



© Gomera del Viento El Hierro S.A.

activités sont très contrôlées, et des zones tampons et de transition, pour favoriser un développement économique durable.

Sur d'autres îles des Canaries, plus boisées (La Gomera) ou plus montagneuses (Tenerife), des parcs nationaux ont été créés. El Hierro, en revanche, n'est pas dotée d'une richesse faunistique et floristique exceptionnelle, menacée par la pression démographique et qui aurait justifié de tels parcs. Seul un lézard géant (*Gallotia simonyi*) y était rarissime – il l'est moins aujourd'hui, grâce à son élevage local. L'originalité d'El Hierro était alors une bonne intégration de l'homme dans la nature, notamment à travers des activités telles que l'agriculture, l'élevage et la pêche, pratiquées de façon traditionnelle. L'impact du tourisme et de l'industrie sur les paysages était nul à la fin des années 1990, fait unique aux Canaries.

Un autre élément a été déterminant pour que le programme MAB (*Man and Biosphere programme*) de l'Unesco accepte le dossier, déposé à la fin des années 1990 : une gestion durable de la zone montagneuse

L'ESSENTIEL

- Dispositifs captant l'eau du brouillard, véhicules électriques, système hydro-éolien destiné à la fois à la production d'électricité et à l'irrigation... L'île d'El Hierro expérimente des mesures écologiques diverses.
- Dès cette année, elle produira son électricité presque entièrement grâce à des sources renouvelables.
- Ce modèle est surtout applicable aux îles. Il sera plus difficile à mettre en œuvre dans les régions industrielles ou densément peuplées.

et, en particulier, la plantation d'arbres «fontaines» recueillant l'eau du brouillard.

Selon l'histoire locale, corroborée par les récits des explorateurs, un tel arbre poussait jadis dans les hautes terres d'El Hierro, à environ 1 000 mètres d'altitude, mais il a été arraché par un ouragan en 1610. Nommé garoé par les indigènes, il était situé au fond d'un vallon, de sorte que le brouillard, poussé par le vent, y déposait ses gouttelettes sur les feuilles. L'eau ruisselait jusqu'à terre, où elle était recueillie dans des puits. L'arbre était vénéré par les premiers habitants de l'île, les Bimbaches, qui le considéraient comme leur ancêtre totemique. Après la conquête de l'île par les Espagnols au XV^e siècle, il a été dessiné sur les armoiries d'El Hierro.

Des arbres fontaines puisant dans le brouillard

Cet arbre sacré était un *Ocotea foetens*, un laurier endémique des Canaries. Si celui vénéré par les Bimbaches a été arraché, d'autres spécimens poussent encore sur l'île.