

VOYAGE AU CENTRE DE L'AIMANT

La spectrométrie de masse
à ultra haute résolution enfin dessinée !



Scénario : Kankr
Dessin : Damour



Pierre Giusti est docteur en chimie analytique, responsable du service de séparation et d'identification moléculaire du TRTG chez TotalEnergies et Directeur de Recherche au CNRS, il est cofondateur et directeur du laboratoire commun iC2MC. Il s'intéresse à la caractérisation moléculaire des matrices complexes dans le domaine de l'énergie et de sa décarbonation. Il est spécialiste en sciences analytiques pour TotalEnergies.

Brice Bouysiere est professeur en chimie analytique à l'institut des sciences analytiques et de physico-chimie pour l'environnement et les matériaux (Université de Pau et des Pays de l'Adour/CNRS), ses recherches portent sur la caractérisation des matrices complexes et sur le développement de méthodes de couplage entre des techniques de séparation et de détection. Il est vice-président délégué Science Avec et Pour la Société (SAPS) à la Science Ouverte (SO) et est cofondateur et codirecteur du laboratoire commun iC2MC.



Carlos Afonso est professeur en chimie analytique au laboratoire COBRA (Université de Rouen/CNRS/INSA), ses recherches portent sur les développements en spectrométrie de masse moléculaire très haute résolution et à la spectrométrie de mobilité ionique. Il s'intéresse particulièrement aux techniques d'ionisation et d'activation notamment dans le cas des mélanges organiques très complexes. Il est directeur adjoint de l'infrastructure de recherche du CNRS Infranalytics en charge de la division FTICR et est cofondateur et codirecteur du laboratoire commun iC2MC.

Ryan Rodgers est docteur en chimie analytique et chercheur au National High Magnetic Field Laboratory (Florida State University), c'est l'un des spécialistes mondiaux de la spectrométrie de masse très haute résolution (FTICR MS). Ses recherches portent sur la caractérisation des matrices complexes par FTICR MS. Il est cofondateur et codirecteur du laboratoire commun iC2MC et porteur de la chaire internationale de Spectrométrie de Masse Haute résolution à l'UPPA.



Julien Maillard est docteur en chimie analytique, il est ingénieur de recherche au sein du laboratoire de spectrométrie de masse haute résolution de TotalEnergies basé à Gonfreville. Il s'intéresse à la caractérisation moléculaire des matrices complexes dans le domaine des nouvelles énergies.

Mélanie Mignot a obtenu son doctorat en chimie analytique en décembre 2016, et a occupé un poste d'ATER à l'IUT de Rouen en 2017. Elle a ensuite reçu une bourse postdoctorale Marie Curie à l'université de Leuven en Belgique. En 2019, elle devient maître de conférences au laboratoire COBRA, à l'INSA de Rouen Normandie et a obtenu en 2023 son Habilitation à diriger des recherches. Ses thématiques de recherche concernent le développement instrumental et méthodologique, en particulier par couplage entre la chromatographie et la spectrométrie de masse à haute résolution, pour des problématiques environnementales ou énergétiques.



Attirée par les sciences depuis l'enfance, après son bac, **Léna Gautier** s'est dirigée vers une licence de géologie avant de poursuivre ses études par le master de communication et culture scientifique de Grenoble. Diplômée, son premier emploi l'a emmenée vers Pau où elle a commencé à prendre part à la revue *Ebullition(s)* en tant que médiatrice SAPS du CCSTI Lacq Odyssée - Science Odyssée. Aujourd'hui, très attachée au projet, elle continue de travailler sur la revue en marge de son travail de médiatrice scientifique dans le Var.

SUPER SPECTRO DÉBARQUE DANS LES LABOS DE IC2MC

Le Père Noël est un peu en avance, et après des semaines de vibrations, de perceuse, et une bonne dalle de support, il est enfin arrivé ...

En Normandie, à Rouen, le laboratoire COBRA vient de faire l'acquisition d'un spectromètre de masse FTICR équipé d'un aimant de 18 teslas (T), soit environ 1 800 fois la puissance du champ magnétique créé par un aimant de frigo. En parallèle, à l'Université de Pau et des Pays de l'Adour, au Sud de l'Aquitaine, ainsi qu'à Gonfreville l'Orcher, près du Havre, dans les laboratoires de recherche de TotalEnergies, ce sont ses petits frères, des 12 T, qui viennent d'être installés. Ces trois instruments viennent compléter le parc de FTICR MS de iC2MC avec le 21 T déjà en place à la Florida State University au National High Magnetic Field Laboratories (NHMFL). Mais à quoi sert cette grosse machine qui était tant attendue dans ces laboratoires ?

Cet appareil est un spectromètre de masse à très haute résolution et très précis. Il permet d'analyser et d'identifier les composants

présents dans un échantillon. Contrairement à d'autres, ce modèle particulier renferme un aimant très puissant dit supraconducteur. Il s'agit d'une grosse bobine de métal composée d'un alliage de niobium et de titane, représentant à elle seule plusieurs centaines de kilomètres, de plusieurs tonnes. Lorsqu'un courant électrique parcourt une bobine, elle produit un champ magnétique mais émet de la chaleur, c'est l'effet Joule. Lorsque la bobine est refroidie à -269°C grâce à de l'hélium liquide elle devient supraconductrice c'est-à-dire que sa résistance électrique devient nulle et qu'il n'y a plus d'émission de chaleur. Il est ainsi possible d'utiliser un courant électrique de plus de 200 A pour obtenir un aimant de très haut champ magnétique. Dans ces conditions, l'immense bobine transformée en aimant supraconducteur, permet d'obtenir un champ magnétique très stable et très puissant. Mais cette technologie ne s'arrête pas là !

De son nom complet, spectromètre de masse à résonance cyclonique ionique (pour FTICR MS), cet instrument permet de faire de la spectrométrie de masse en combinant l'usage de ce même aimant supraconducteur à une opération mathématique appelée transformée de Fourier.



Inventé par Marshall et Comisarow à l'université de Colombie-Britannique en 1974, cet appareil permet de s'intéresser aux molécules, c'est-à-dire, aux combinaisons d'atomes. Une molécule est constituée de plusieurs atomes liés entre eux grâce à des liaisons chimiques. Chaque molécule a une masse, correspondant à la somme des masses des atomes la constituant. Le but de ce super spectro, est de mesurer la masse des molécules de façon très précise afin de pouvoir élucider leur composition. Cet instrument a en outre une très grande résolution c'est-à-dire qu'il est capable de séparer des molécules dont la masse est très proche ce qui est essentiel pour l'analyse d'échantillons très complexes constitués de dizaines de milliers de molécules différentes.

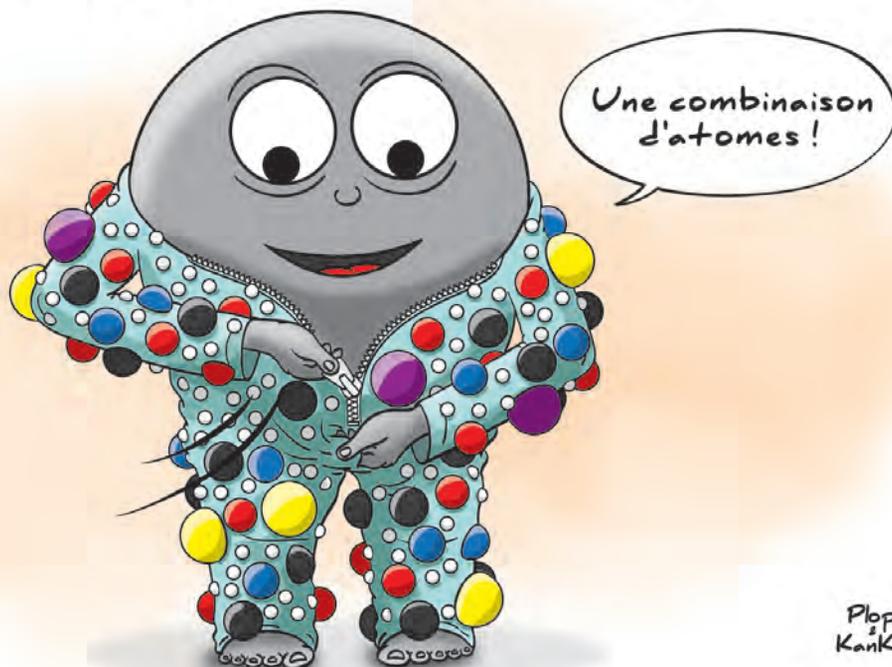
UNE TECHNOLOGIE DE POINTE

Grace à sa gamme dynamique élevée, cet appareil peut détecter des molécules présentes dans un mélange, même en très faible quantité. De plus, la grande précision de mesure de cet instrument, permet de déterminer très facilement la formule moléculaire de ce qui constitue notre échantillon, c'est à dire en indi-

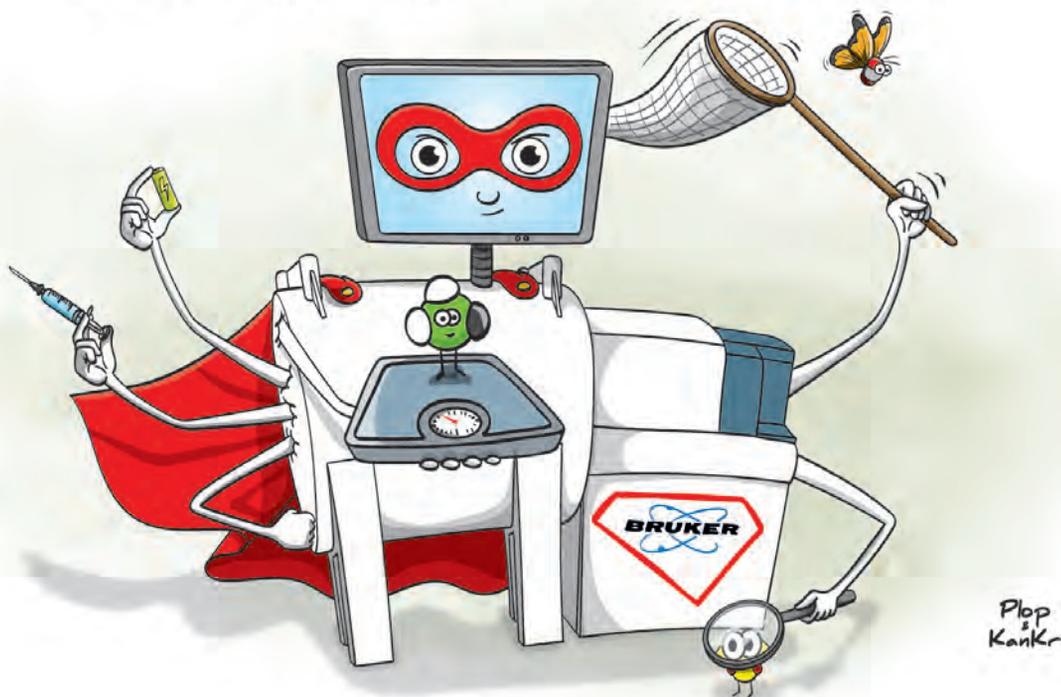
quant quels types d'atomes elles contiennent, et combien de chaque type ! Là où un instrument peu précis ne permettrait de fournir les masses moléculaires qu'avec un seul chiffre après la virgule, un spectromètre FTICR, lui, permet de donner une valeur avec 5 chiffres après la virgule ! Cela réduit drastiquement les combinaisons atomiques possibles pour une masse donnée. Cette distinction est aussi permise car l'erreur, c'est-à-dire l'écart entre la masse théorique et la masse expérimentalement mesurée, est inférieure à 1 ppm (partie par million). Cela signifie que le taux d'erreur mesuré est inférieur à 1 pour chaque million d'unités mesurées, faisant de super spectro un des appareils de mesure les plus précis qui soit !

Parallèlement, le très haut champ de l'aimant permet à l'appareil d'avoir une résolution pouvant atteindre plus d'un million. Une telle résolution permet d'avoir des signaux très fins et donc de différencier des molécules qui ont des masses très proches. Avec des mélanges complexes comme des sols ou des fumées de combustion qui contiennent des dizaines de milliers de molécules, le besoin de résolution est primordial.

QU'EST-CE QU'UNE MOLÉCULE ?



LE FTICR, UNE MACHINE MULTITÂCHE !



Ainsi cet instrument permet à la fois de séparer chacune des molécules d'un mélange très complexe et d'attribuer à chaque signal une formule moléculaire et donc, de décrypter la composition moléculaire d'un échantillon. C'est un peu comme porter des lunettes pour un myope... Les contours sont beaucoup plus nets, précis, et on est capable de distinguer les détails d'un objet et plus seulement sa forme globale.

DANS LES FAITS, COMMENT EST-CE QUE CELA FONCTIONNE ?

Pour commencer, il faut diluer l'échantillon dans un solvant. Cela est un peu comme diluer de la grenadine dans de l'eau pour qu'elle ne soit pas trop sucrée. Ensuite, l'échantillon est introduit dans la source d'ionisation à l'aide d'une seringue. Naturellement une molécule est électriquement neutre, elle n'a pas de charge. Mais on peut lui ajouter des charges

par exemple en l'associant à d'autres espèces chargées qui font partie de l'échantillon, notre molécule devient alors un ion, c'est l'objectif de l'étape d'ionisation. Cette étape est importante car les champs électriques et magnétiques utilisés par l'appareil ne seraient pas en mesure d'agir sur les molécules sans charge électrique et l'analyse ne fonctionnerait pas. Une fois les molécules ionisées, la grande traversée commence, jusqu'au cœur du spectromètre. Une fois arrivée au centre de l'aimant les ions vont tourner et parcourir des dizaines de kilomètres ! Mais pour que les mesures se passent bien il ne faut rencontrer aucun obstacle ce qui n'est possible que dans un vide très poussée correspondant à 13 ordres de grandeur de moins que la pression atmosphérique ! Pour cela l'instrument est équipé de pompes à vide très puissantes appelées pompes turbomoléculaires.

Pour déterminer la masse des ions nous allons mesurer leur fréquence de rotation qui justement dépend de leur masse. En y appliquant l'opération mathématique appelée transformée de Fourier, il est possible de

déterminer la fréquence de chaque ion qui permet de calculer leur masse par un calcul très simple.

Bien sûr pour que cela fonctionne au mieux il faut des utilisateurs experts capables d'optimiser les paramètres d'acquisition pour assurer une transmission optimale des ions, et que l'appareil soit très bien étalonné pour obtenir des mesures très précises. Pour cela, on utilise des molécules de référence dont les masses sont connues.

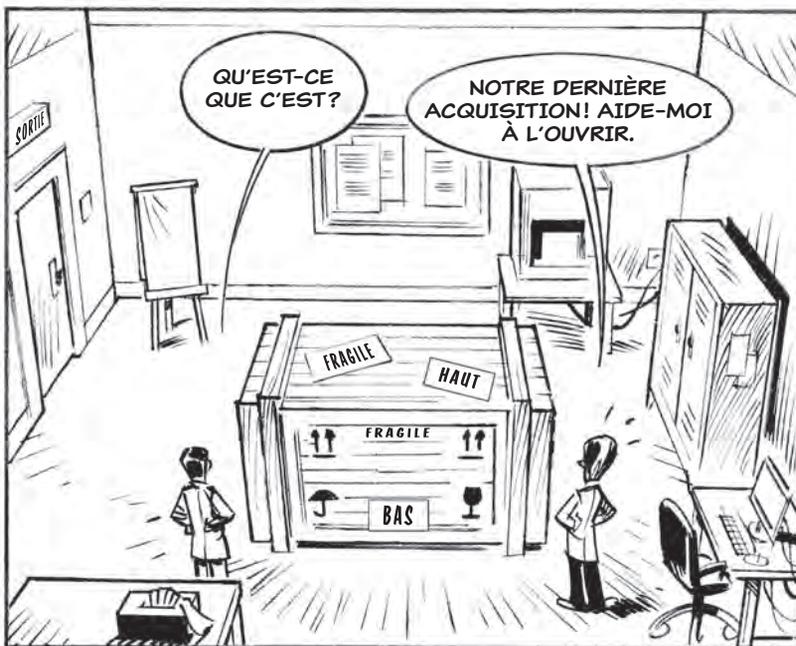
L'appareil génère une très grande quantité de données. Pour les gérer plus facilement, le laboratoire international iC2MC (International Complex Matrices Molecular Characterization) a développé un logiciel capable de déterminer les formules moléculaires et de représenter les données obtenues sous forme de cartographies moléculaires pour mieux comparer les échantillons.

Ces nouveaux spectromètres vont permettre de repousser les limites de la caractérisation moléculaire et d'explorer plus finement des échantillons très complexes dans le domaine de la santé, de l'énergie, l'environnement, et bien d'autres secteurs encore !





IL EST ARRIVÉ!

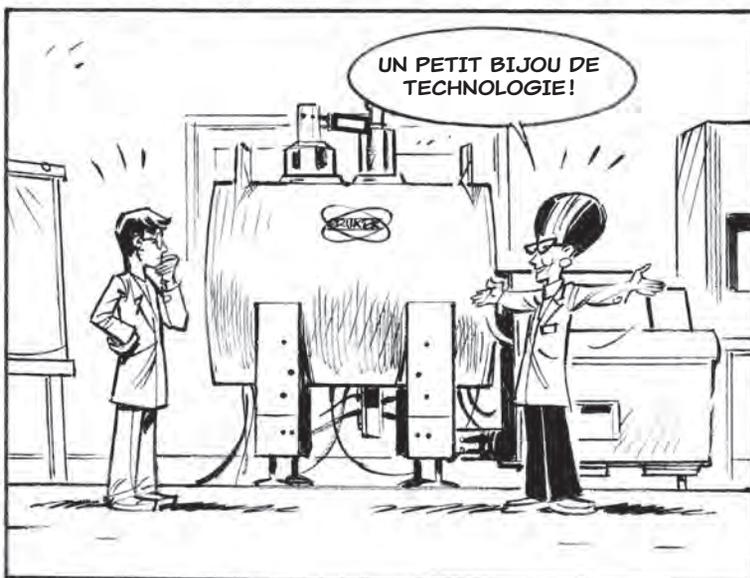


QU'EST-CE QUE C'EST?

NOTRE DERNIÈRE ACQUISITION! AIDE-MOI À L'OUVRIR.



JE TE PRÉSENTE LE FTICR MS.



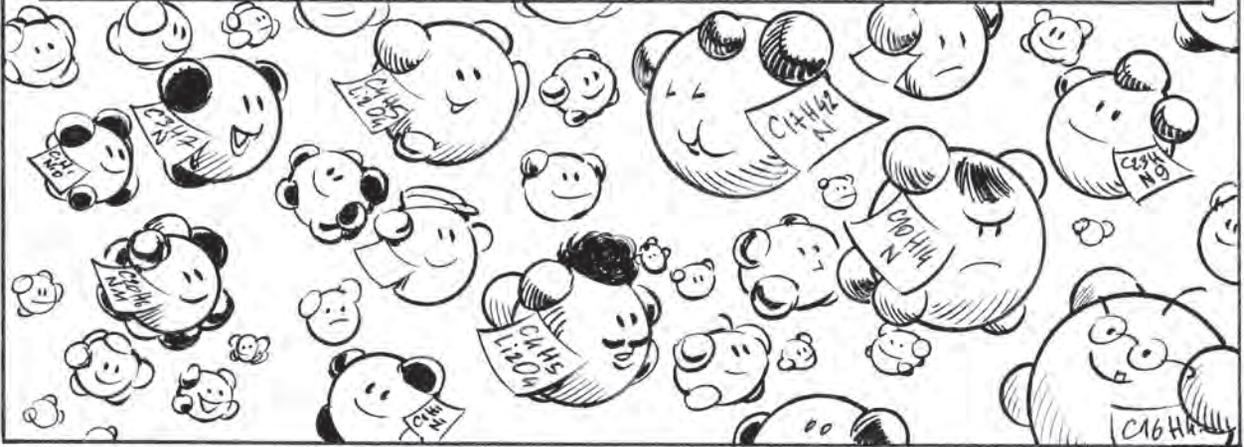
UN PETIT BIJOU DE TECHNOLOGIE!



GRÂCE À LUI NOUS ALLONS PROGRESSER DANS NOS RECHERCHES EN CHIMIE ANALYTIQUE.

TAP!
TAP!

IL VA NOUS PERMETTRE D'AMÉLIORER LA CARACTÉRISATION DE NOS ÉCHANTILLONS COMPLEXES, DE CONNAÎTRE LEUR COMPOSITION MOLÉCULAIRE, ET MÊME, POUR CERTAINS COMPOSÉS, JUSQU'À L'ÉTAT DE TRACES...



ET DE DÉCELER DES CONSTITUANTS JUSQUE-LÀ IMPERCEPTIBLES.



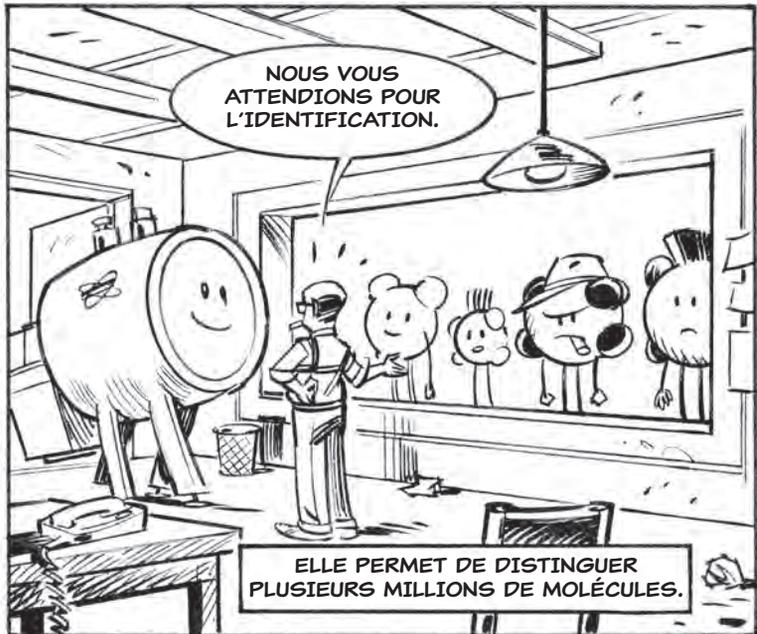
NOUS ALLONS POUVOIR IDENTIFIER TOUTES LES MOLÉCULES PRÉSENTES.



DE PLUS, CETTE MACHINE A UNE TRÈS GRANDE GAMME DYNAMIQUE. ELLE EST CAPABLE DE DISTINGUER LES CONSTITUANTS MAJORITAIRES, MAIS AUSSI CEUX QUI SONT PRÉSENTS EN QUANTITÉ INFIME.



NOUS VOUS ATTENDIONS POUR L'IDENTIFICATION.



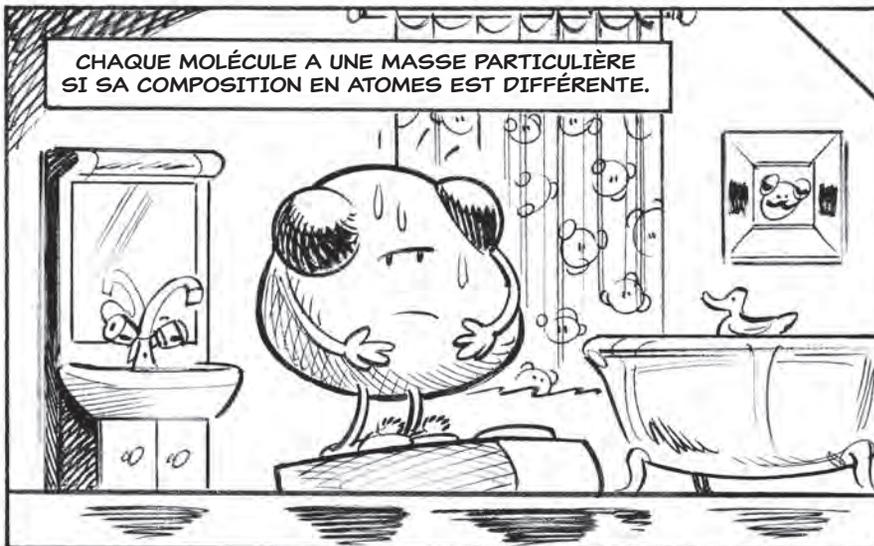
ELLE PERMET DE DISTINGUER PLUSIEURS MILLIONS DE MOLÉCULES.

UNE MOLÉCULE EST UNE COMBINAISON
D'ATOMES LIÉS ENTRE EUX.



MAIS
LAISSEZ-MOI
TRANQUILLE!!!

CHAQUE MOLÉCULE A UNE MASSE PARTICULIÈRE
SI SA COMPOSITION EN ATOMES EST DIFFÉRENTE.



JE N'AURAI
PAS DÛ
REPRENDRE DE
DESSERT...

C'EST CETTE MESURE DE
LA MASSE «EXACTE»
QUE L'ON PEUT IDENTIFIER À
L'AIDE D'UN SPECTROMÈTRE
DE MASSE.

D'OÙ L'IMPORTANCE DE LA PRÉCISION DE MESURE. SI LA
BALANCE N'EST PAS PERFORMANTE OU QU'ELLE EST
MAL RÉGLÉE, CELA PEUT FAIRE UNE GRANDE
DIFFÉRENCE DANS L'IDENTIFICATION
DES MOLÉCULES.

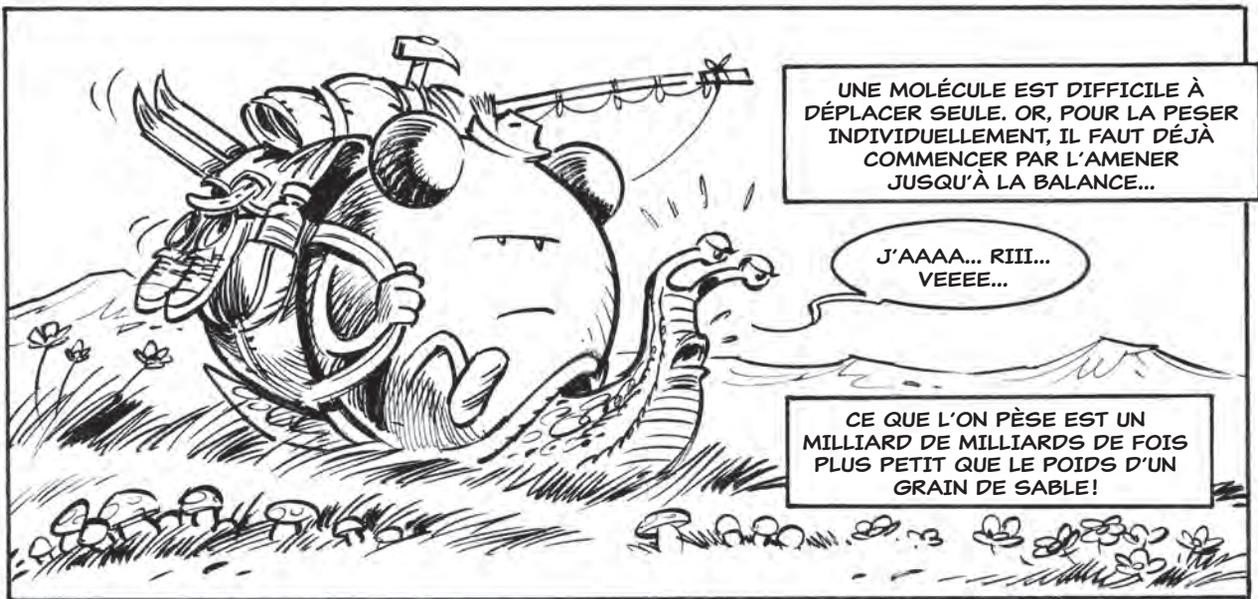




LA PRÉCISION DE MESURE D'UN SPECTROMÈTRE DE MASSE DÉPEND DE SA CAPACITÉ À MESURER LES VALEURS DÉCIMALES DE LA MASSE OBSERVÉE.

AVEC CE TYPE DE MACHINE, LA MESURE DE LA MASSE EST SI PRÉCISE QU'IL EST POSSIBLE DE DONNER LA FORMULE MOLÉCULAIRE, C'EST-À-DIRE L'EXACTE COMPOSITION EN ATOMES CORRESPONDANT À LA VALEUR OBTENUE.





UNE MOLÉCULE EST DIFFICILE À DÉPLACER SEULE. OR, POUR LA PESER INDIVIDUELLEMENT, IL FAUT DÉJÀ COMMENCER PAR L'AMENER JUSQU'À LA BALANCE...

J'AAAA... RIII... VEEEEE...

CE QUE L'ON PÈSE EST UN MILLIARD DE MILLIARDS DE FOIS PLUS PETIT QUE LE POIDS D'UN GRAIN DE SABLE!



IL FAUT DONC COMMENCER PAR TRANSFORMER LES MOLÉCULES EN IONS.

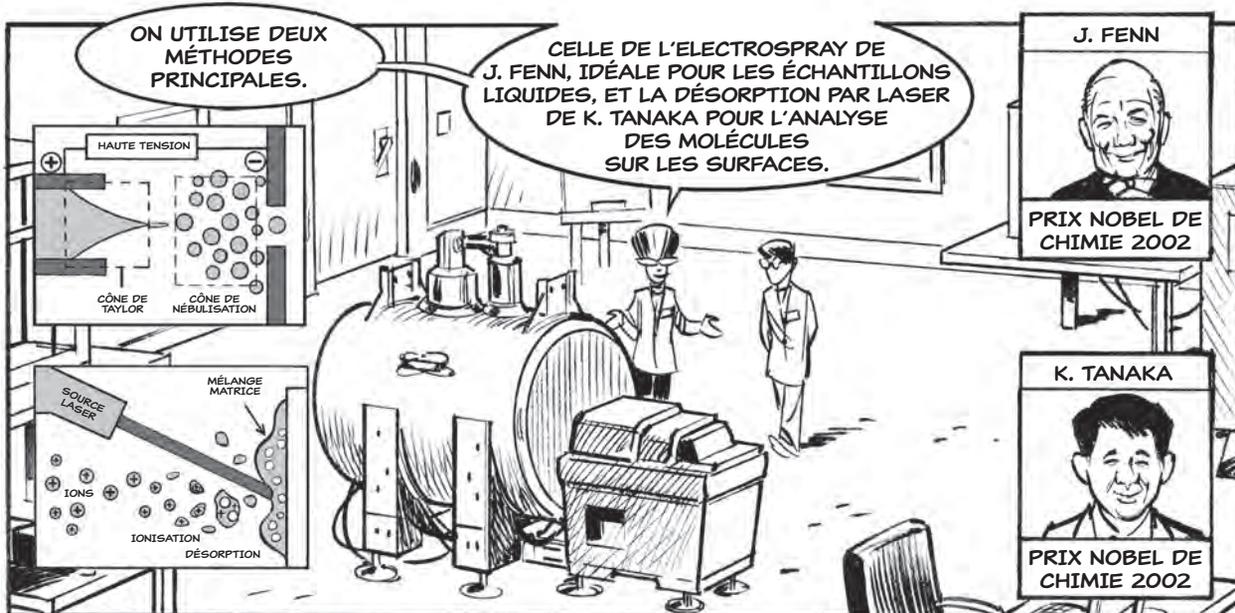


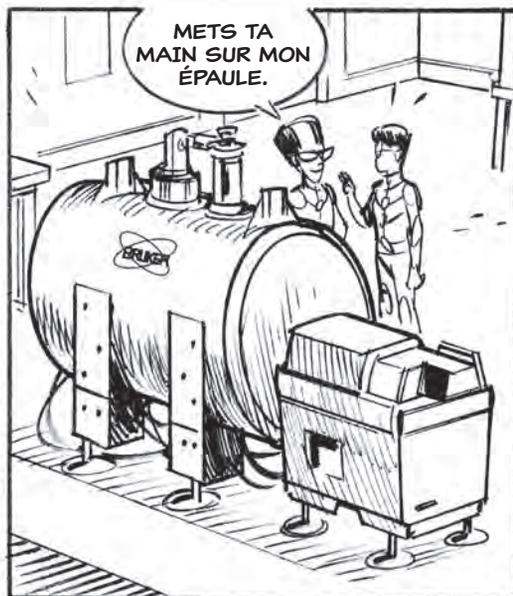
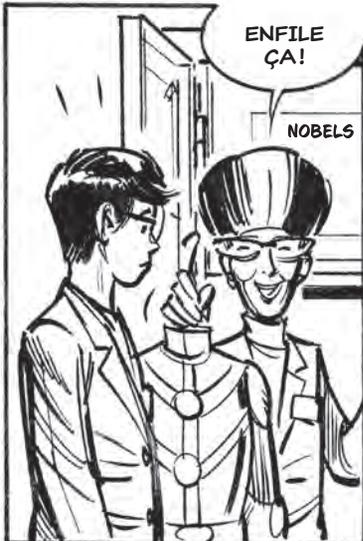
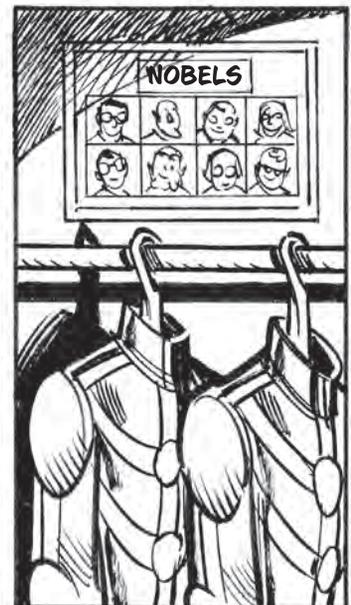
POUR TRANSFORMER UNE MOLÉCULE EN ION, ON DOIT LA CHARGER NÉGATIVEMENT OU POSITIVEMENT.

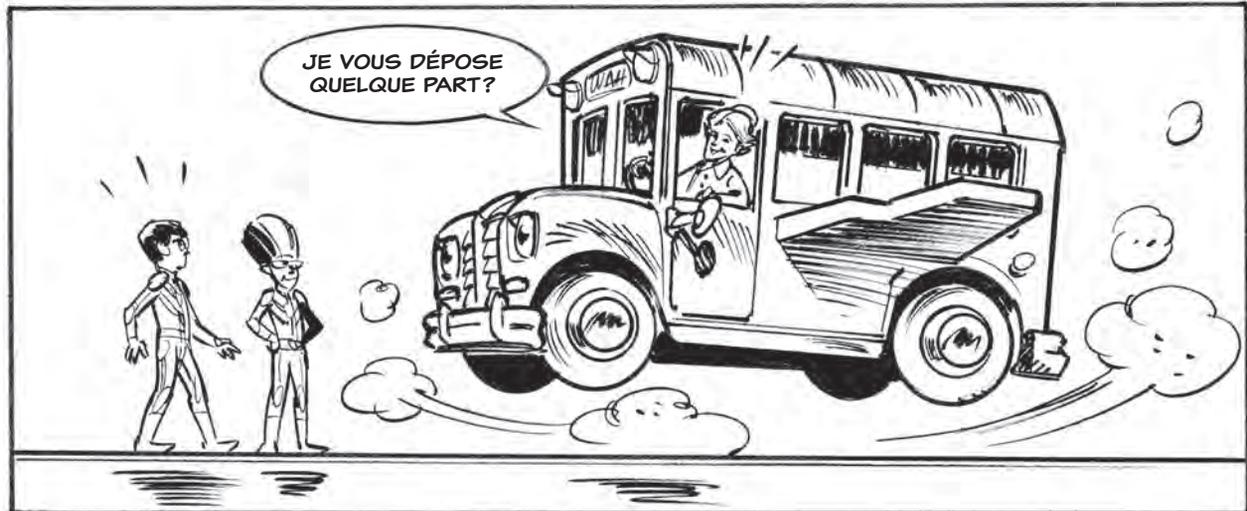
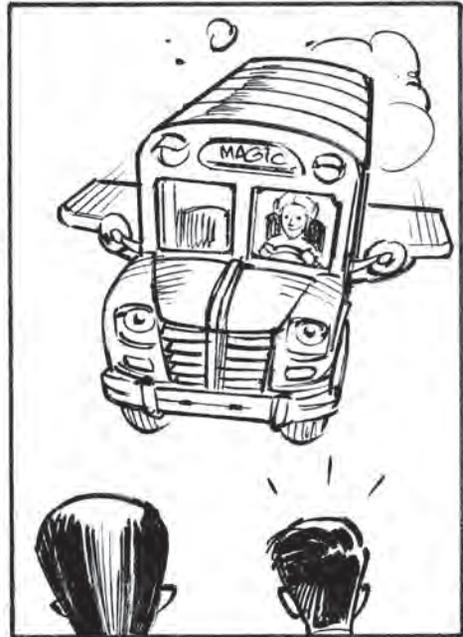
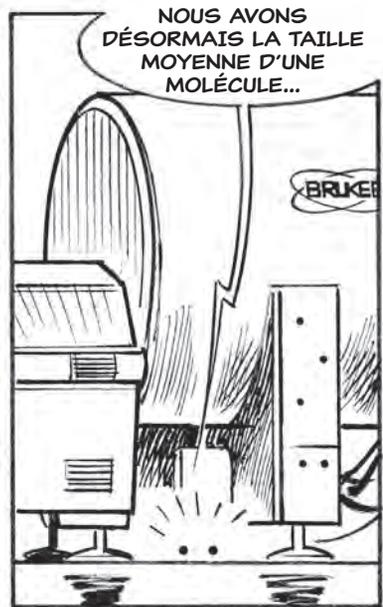


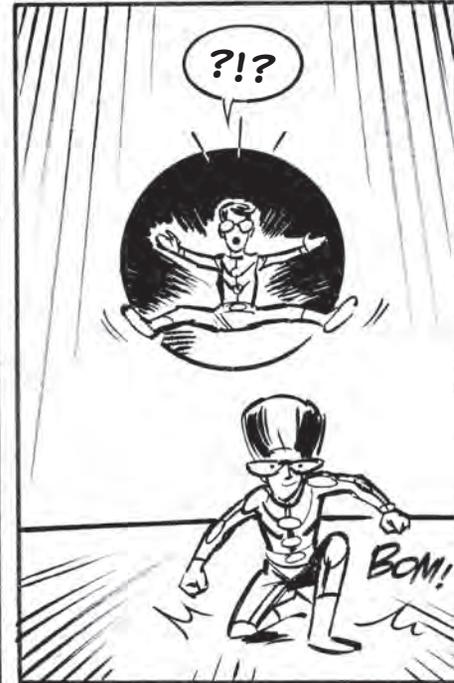
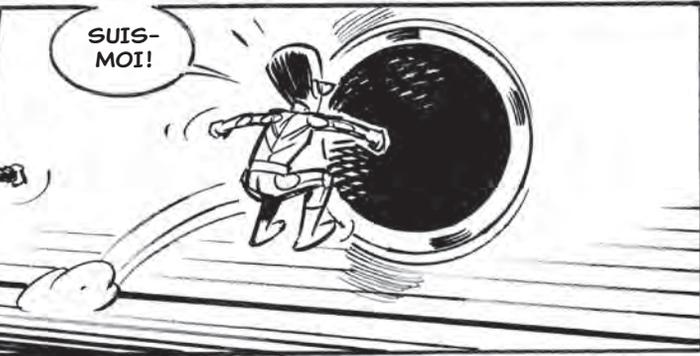
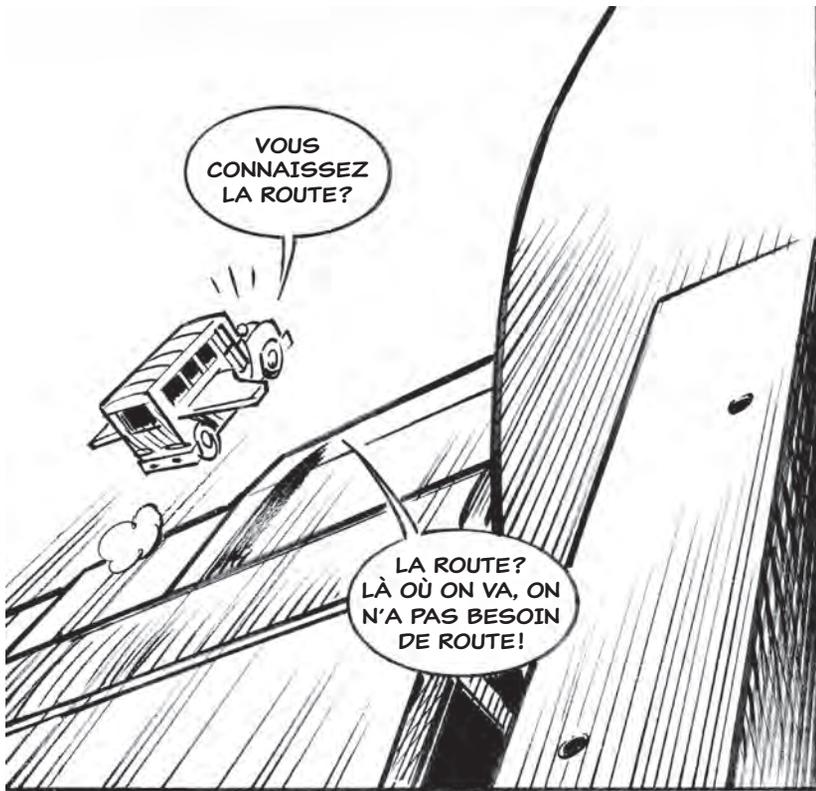
C'EST CE QU'ON APPELLE L'IONISATION!

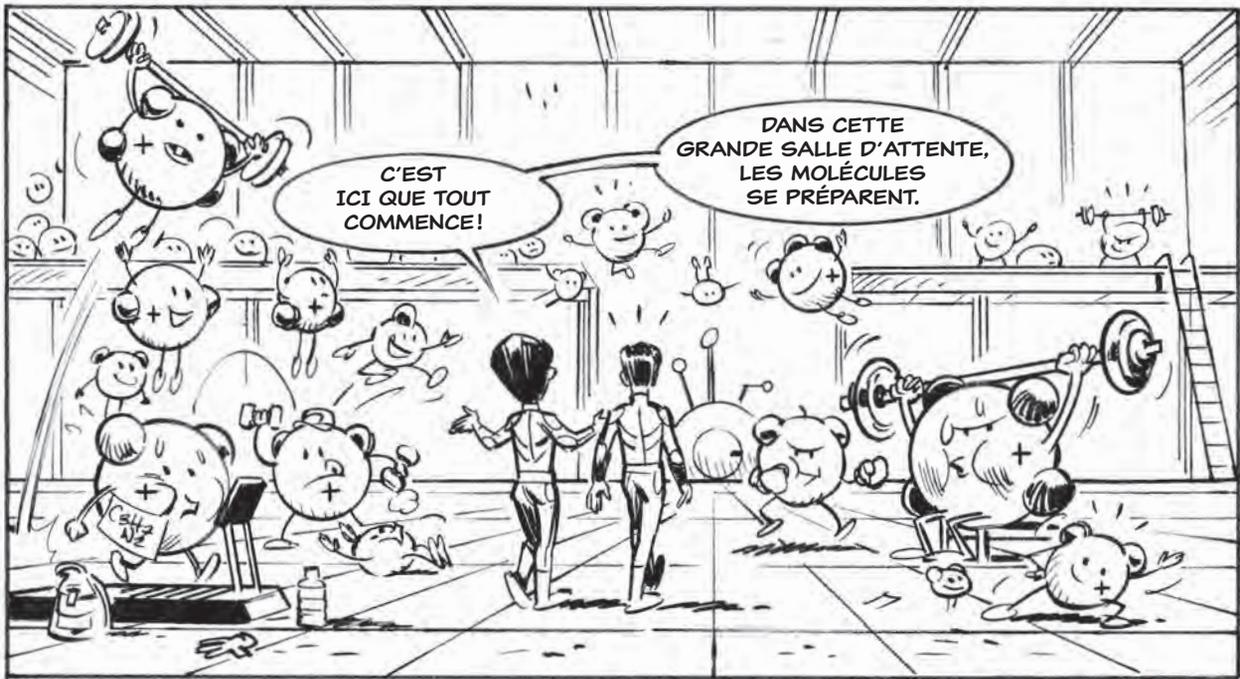
Fabriquer un ion...
 $-e^-$
 $+H^+$











IL Y A PLUS DE MOLÉCULES DANS UNE GOUTTE D'ÉCHANTILLON QUE DE GRAINS DE SABLE DANS LE DÉSERT DU SAHARA. TOUTES NE SONT PAS IONISÉES, MAIS PLUSIEURS MILLIARDS PAR GOUTTE QUAND MÊME!

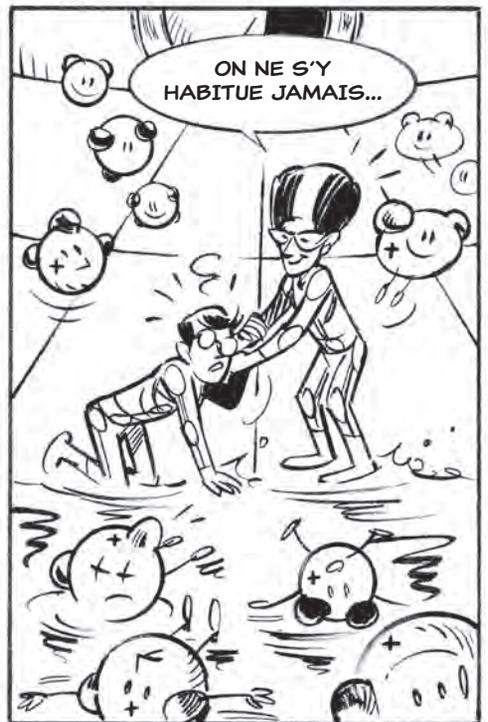
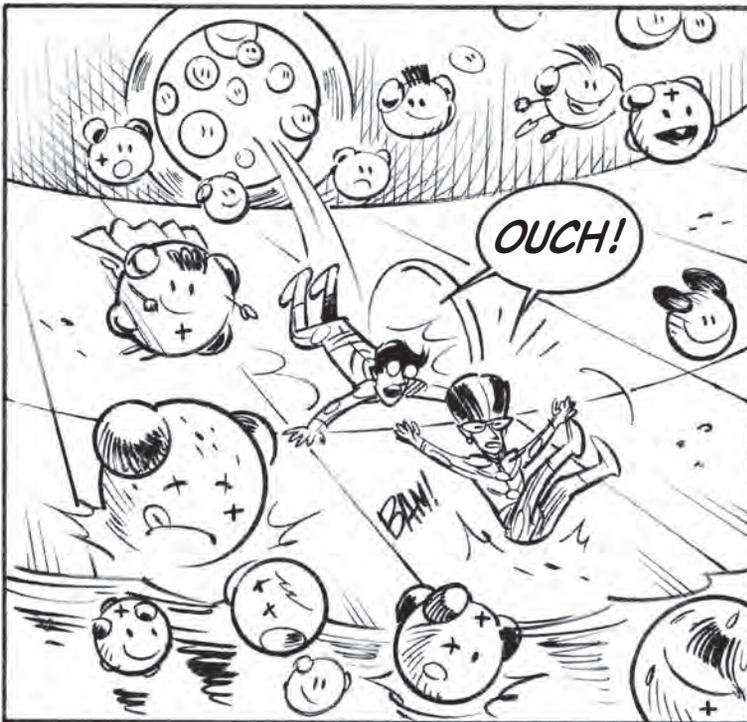
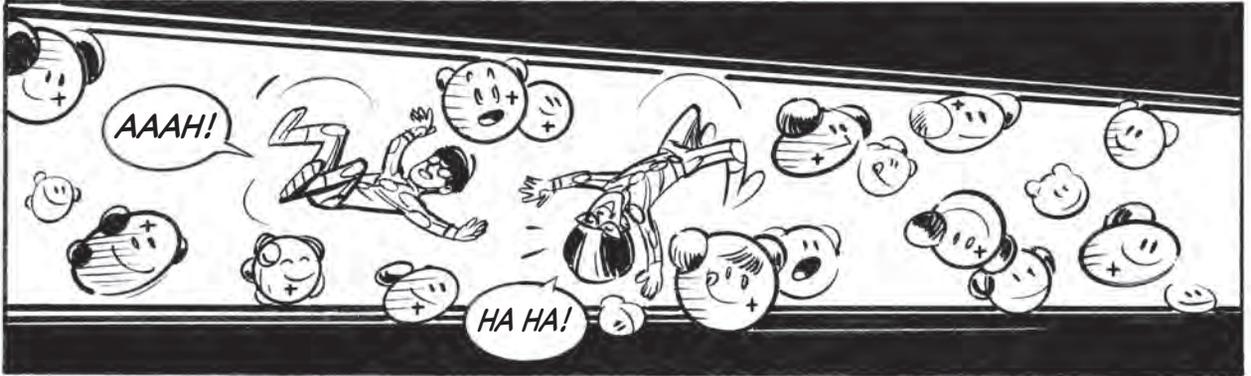
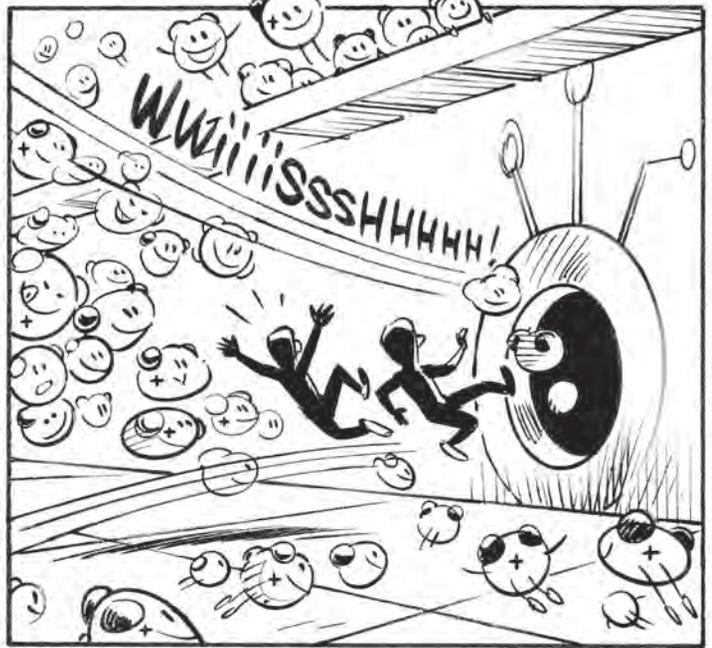
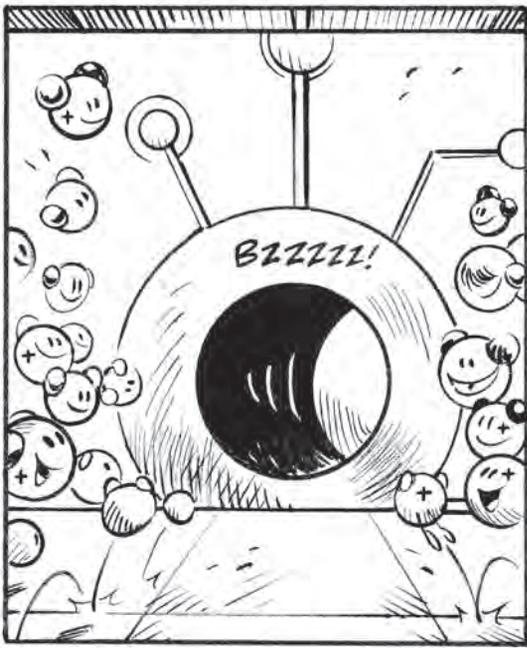


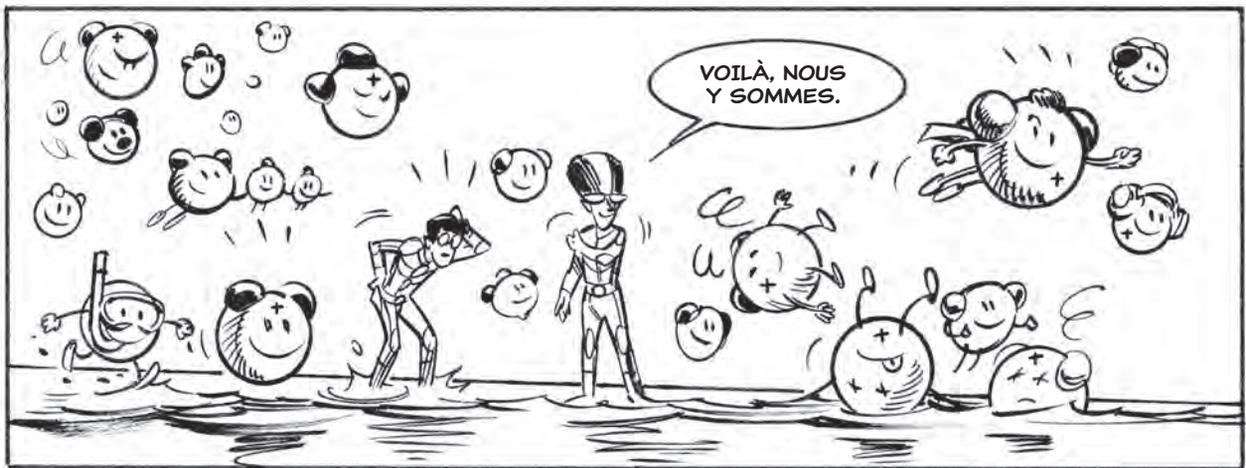
UNE FOIS QUE LES MOLÉCULES SE SONT CHANGÉES EN IONS, ELLES ATTENDENT POUR SE RENDRE DANS L'ESPACE SUIVANT OÙ TOUT SE DÉROULE.



QUE SE PASSE-T-IL DERRIÈRE CETTE PORTE?

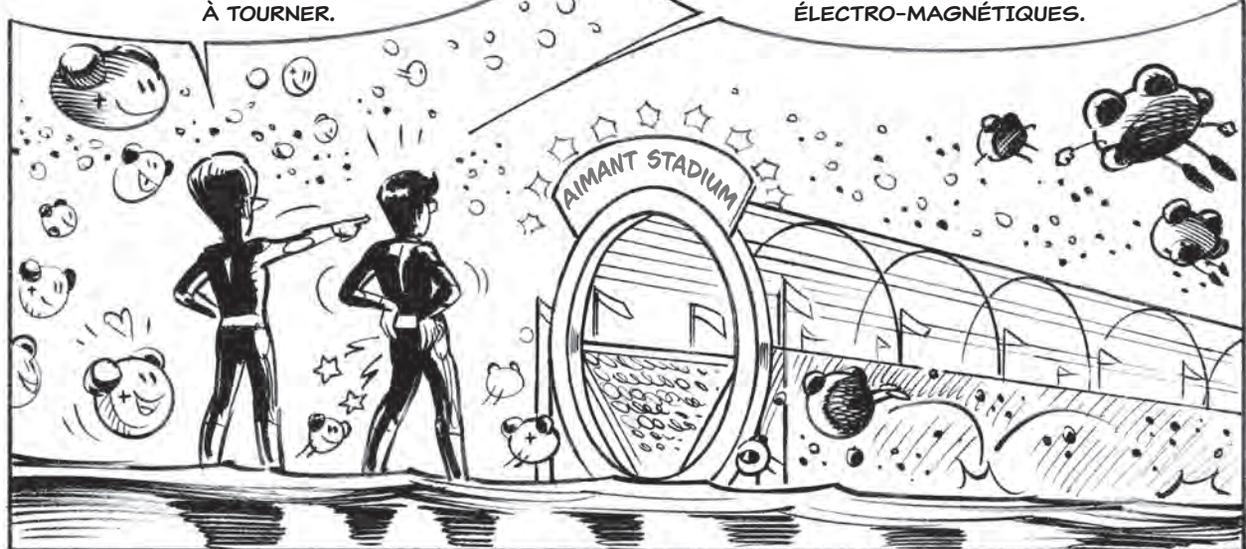




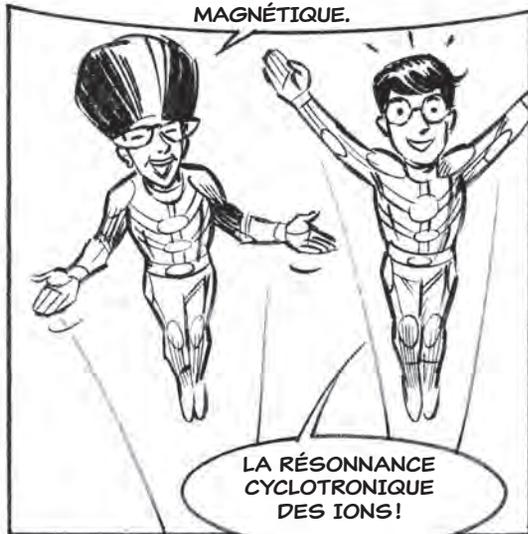


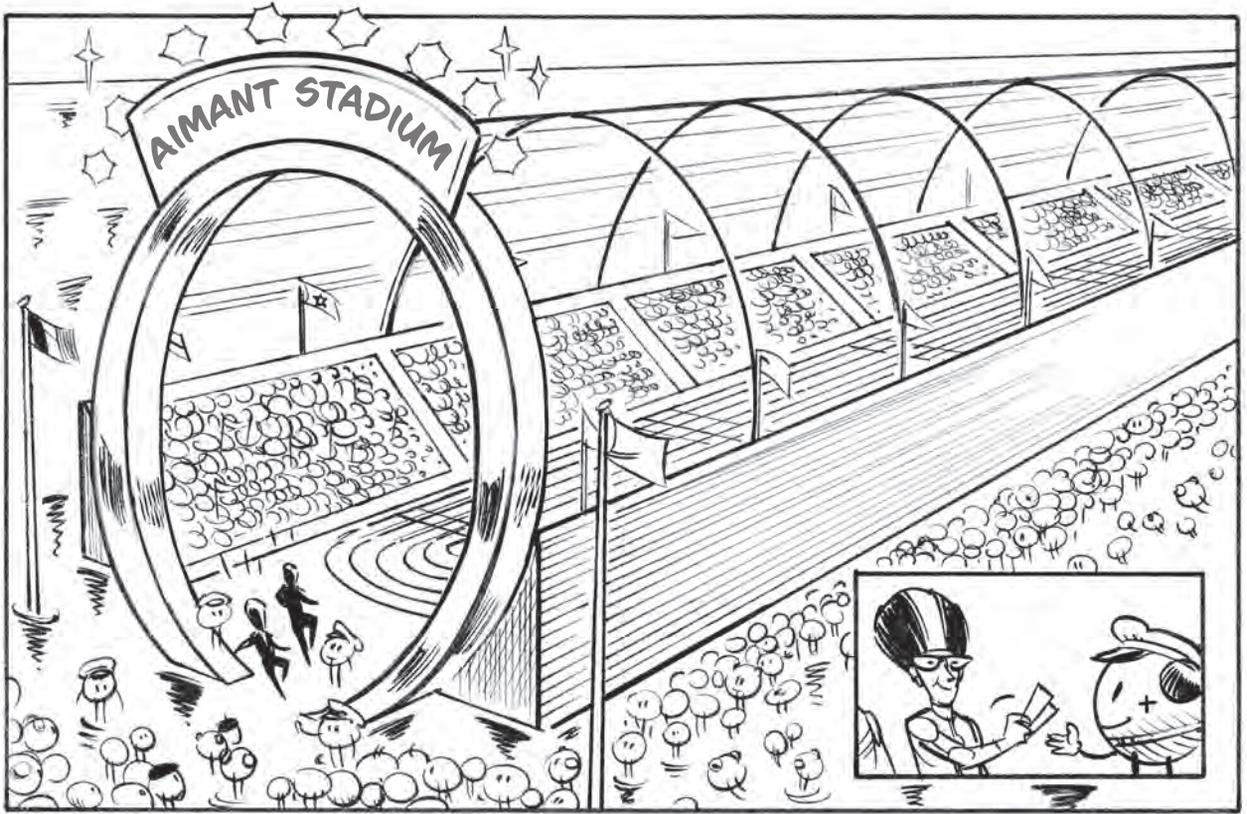
APRÈS AVOIR ÉTÉ FOCALISÉS, DISPERSÉS ET REGROUPÉS, LES IONS SONT TOUS ENVOYÉS D'UN SEUL COUP DANS L'AIMANT OÙ ILS SE METTENT À TOURNER.

D'OÙ L'INTÉRÊT DE TRANSFORMER LES MOLÉCULES EN IONS. CONTRAIREMENT AUX MOLÉCULES, LES IONS SE DÉPLACENT FACILEMENT. ON LES ATTIRE OU ON LES REPOUSSE AVEC DES CHAMPS ÉLECTRO-MAGNÉTIQUES.



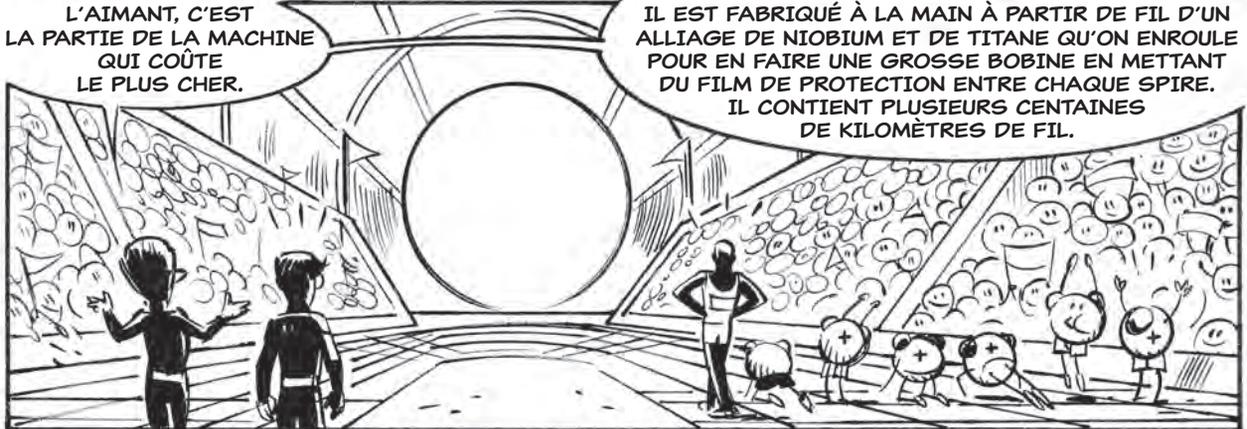
EXACTEMENT! LORSQU'ON PLACE UN ION DANS UN CHAMP MAGNÉTIQUE, IL TOURNE AUTOUR DE L'AXE DU CHAMP. LA PÉRIODICITÉ DE CETTE ROTATION DÉPEND DE SA MASSE, DE SA CHARGE ET DE L'INTENSITÉ DU CHAMP MAGNÉTIQUE.



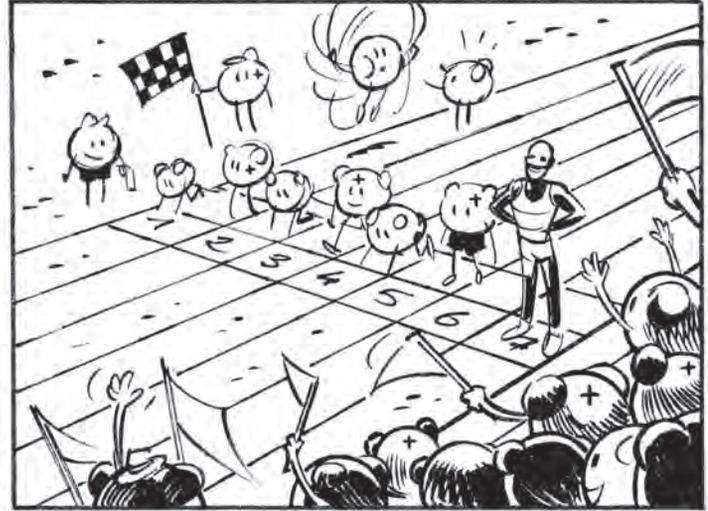


L'AIMANT, C'EST LA PARTIE DE LA MACHINE QUI COÛTE LE PLUS CHER.

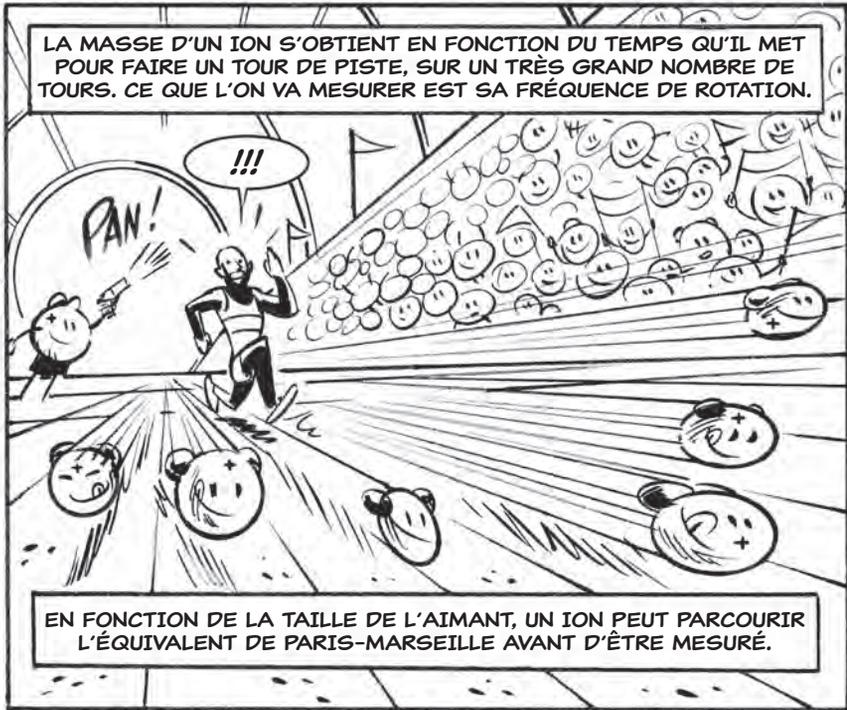
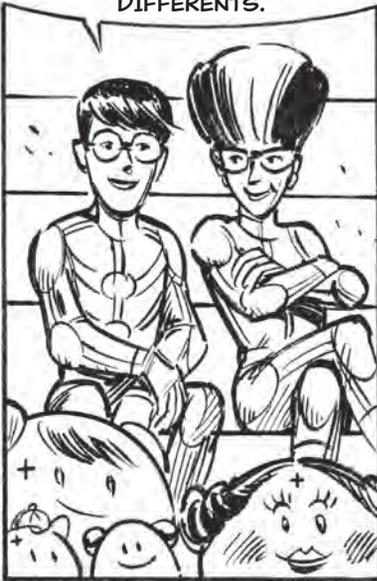
IL EST FABRIQUÉ À LA MAIN À PARTIR DE FIL D'UN ALLIAGE DE NIOBIUM ET DE TITANE QU'ON ENROULE POUR EN FAIRE UNE GROSSE BOBINE EN METTANT DU FILM DE PROTECTION ENTRE CHAQUE SPIRE. IL CONTIENT PLUSIEURS CENTAINES DE KILOMÈTRES DE FIL.



ICI SE DÉROULE UNE GRANDE COURSE, CIRCULAIRE, D'IONS.



ET C'EST POUR ÇA QU'IL NE FAUT PAS LES ENVOYER N'IMPORTE COMMENT, POUR NE PAS QU'ILS DÉMARRENT LA COURSE À DES TEMPS DIFFÉRENTS.



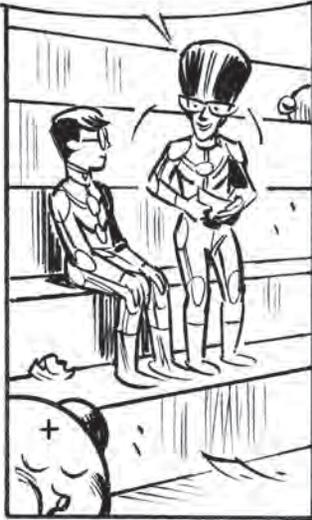
L'INTENSITÉ DU CHAMP MAGNÉTIQUE EST UNE VALEUR FIXE ET TRÈS STABLE AVEC LES AIMANTS SUPRACONDUCTEURS, CE QUI SIGNIFIE QUE LA FRÉQUENCE DE ROTATION (OMÉGA) DÉPEND UNIQUEMENT DE LA MASSE DE L'ION.



C'EST LE «SPECTROMÈTRE DE MASSE À RÉSONANCE CYCLOTRONNIQUE DES IONS À TRANSFORMÉE DE FOURIER» : LE FTICR MS DANS LEQUEL NOUS NOUS TROUVONS.

$$m = \frac{q \cdot B_0}{\omega c}$$

ACTUELLEMENT, PLUSIEURS
PUISSANCES D'AIMANTS
EXISTENT SUR LE MARCHÉ,
LE 7 TESLAS OU
LE 12 TESLAS.
MAIS, IL EXISTE DES
PROTOTYPES ENCORE PLUS
PUISSANTS.



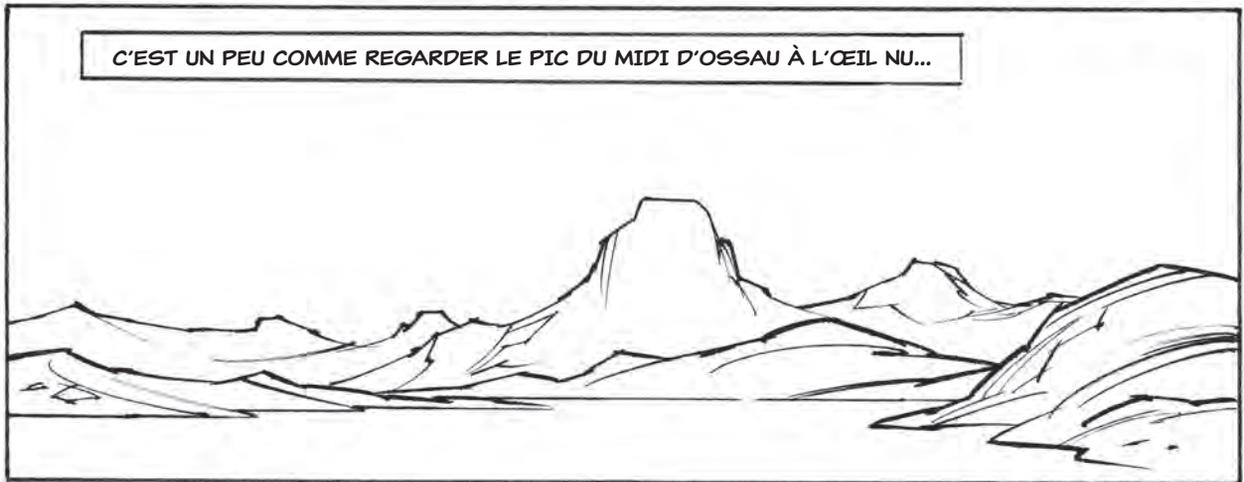
QUELLE EST
LA DIFFÉRENCE?

LA TAILLE DE L'AIMANT. LES MACHINES SONT
LES MÊMES ET LES IONS TOURNENT DE LA
MÊME MANIÈRE, MAIS PLUS L'AIMANT EST
PUISSANT, PLUS ON Y MET D'IONS ET PLUS
LA DISTANCE QU'ILS PARCOURENT
EST LONGUE.

PLUS ILS TOURNENT, PLUS ON LES
SÉPARE, CE QUI PERMET DE
DIFFÉRENCIER DEUX MOLÉCULES DE
MASSE TRÈS PROCHES. C'EST CE
QU'ON APPELLE LA RÉOLUTION.



C'EST UN PEU COMME REGARDER LE PIC DU MIDI D'OSSAU À L'ŒIL NU...



PUIS, AVEC DES JUMELLES...



ET DE ZOOMER AU MAXIMUM!

LE FTICR MS PERMET DE DISTINGUER PLUSIEURS PICS LÀ OÙ TU N'EN VOYAIS QU'UN AU DÉBUT.



MAIS D'OÙ VIENT TOUT CE LIQUIDE?

C'EST DE L'HÉLIUM LIQUIDE. NE METS PAS LE DOIGT DEDANS, IL EST À -269°C . IL SERT À REFROIDIR LA BOBINE DE L'AIMANT AFIN QU'IL N'Y AIT PAS DE CHALEUR PRODUITE PAR LE COURANT ÉLECTRIQUE QUI LA TRAVERSE. LA BOBINE EST AINSI SUPRACONDUCTRICE!

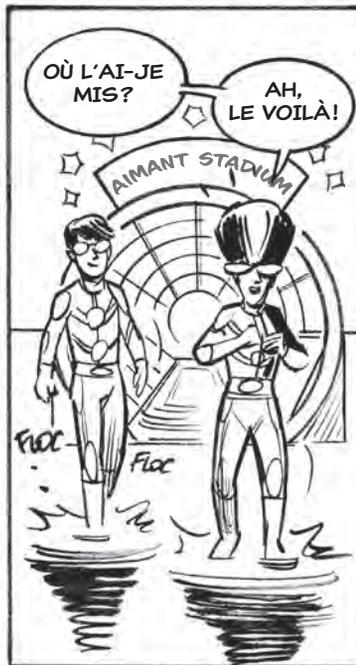


CET AIMANT ÉQUIVAUT À PLUSIEURS MILLIERS DES PLUS PUISSANTS MAGNETS DE FRIGO. IL EST PARCOURU PAR UN COURANT DE PLUSIEURS CENTAINES D'AMPÈRES. UN TEL COURANT FAIT FONDRE N'IMPORTE QUEL FIL MÉTALLIQUE! D'AUTANT QUE CEUX-LÀ SONT À PEINE PLUS ÉPAIS QU'UN CHEVEU...

OÙ L'AI-JE MIS?

AH, LE VOILÀ!

AIMANT STADIUM



VOILÀ DANS QUOI PASSENT NOS ÉLECTRONS.



DANS UN CONDUCTEUR CLASSIQUE, LES ÉLECTRONS AVANCENT DANS TOUS LES SENS, TOUCHENT LA PAROI ET PRODUISENT ENCORE PLUS DE CHALEUR, ALORS QUE DANS UN SUPRACONDUCTEUR, ILS AVANCENT TOUT DROIT.

CELA PERMET DE FAIRE CIRCULER UNE QUANTITÉ PLUS IMPORTANTE DE COURANT DANS UN FIL MINUSCULE SANS AVOIR DE PERTE, ET AINSI GÉNÉRER UN CHAMP MAGNÉTIQUE TRÈS PUISSANT.



FLOC
FLOC FLOC!

FLOC
FLOC



AH!



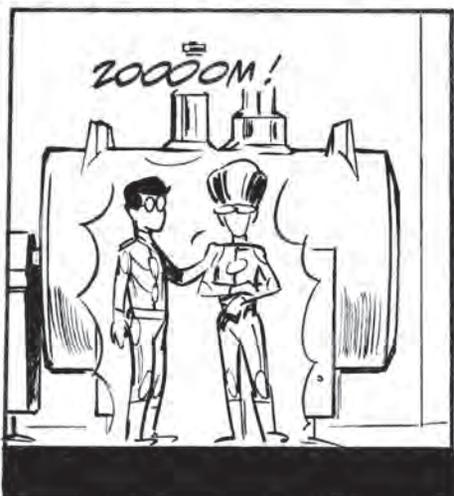
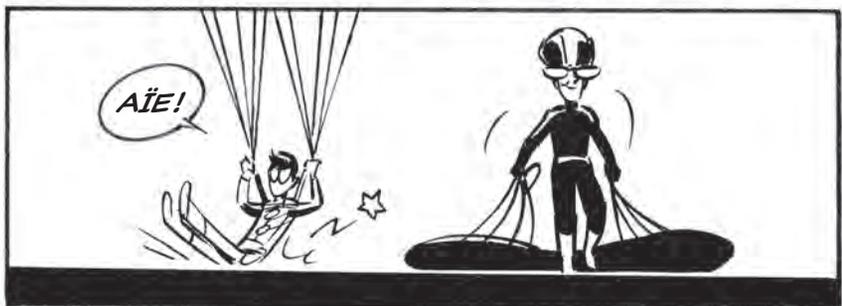
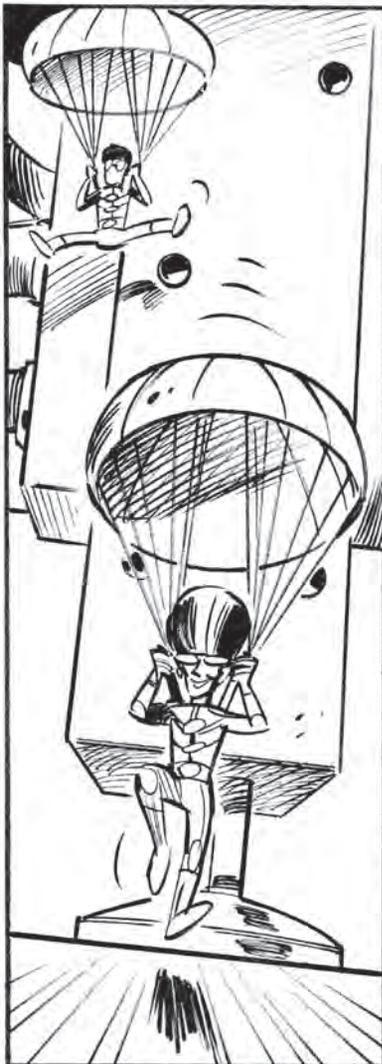
J'ESPÈRE QUE LA VISITE T'A PLU.



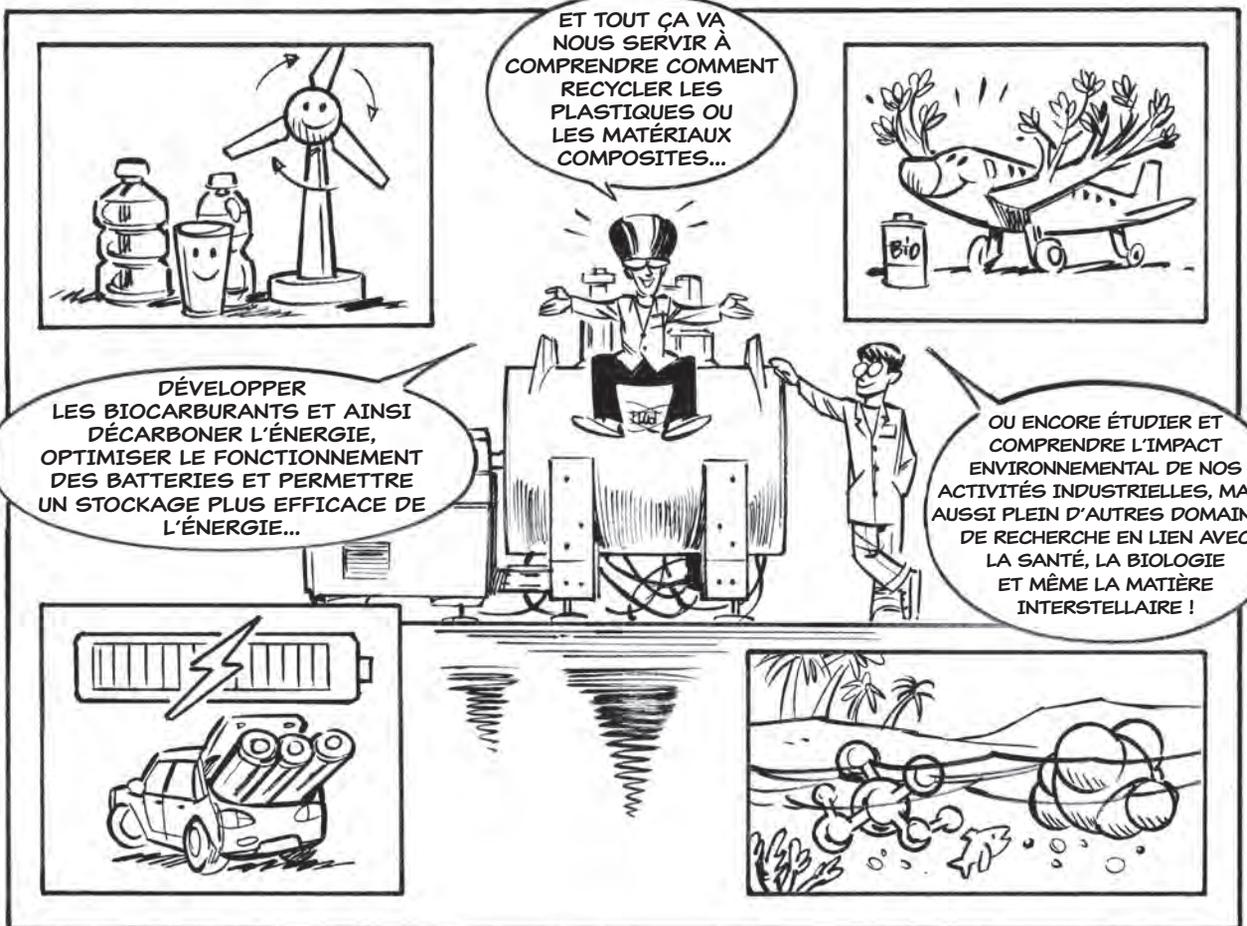
ON REDESCEND COMMENT?



À L'ANCIENNE!





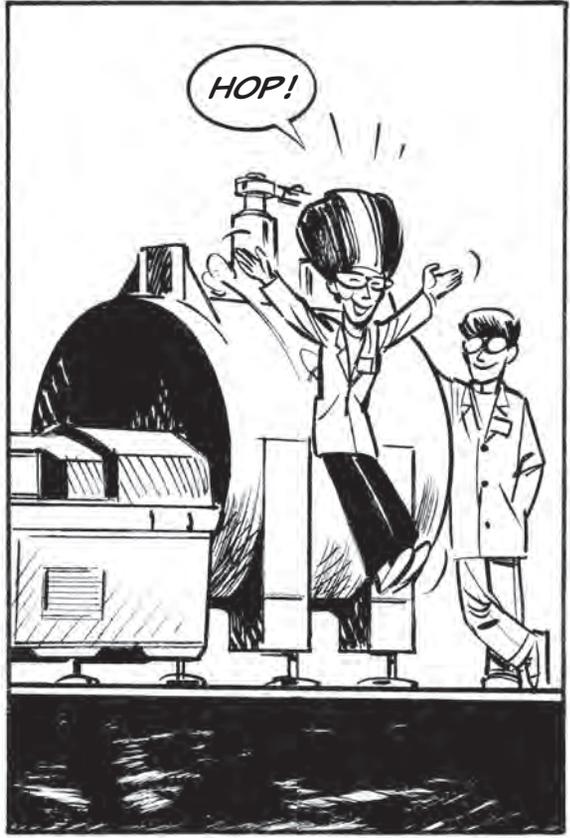
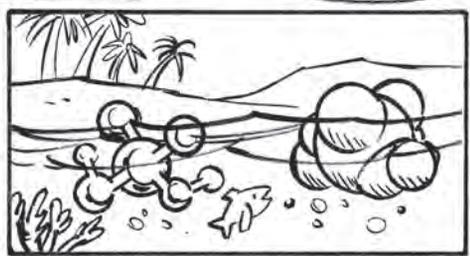
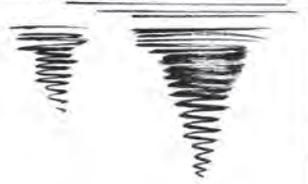
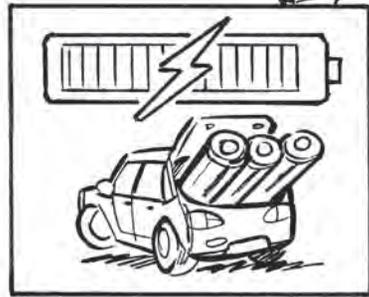


ET TOUT ÇA VA NOUS SERVIR À COMPRENDRE COMMENT RECYCLER LES PLASTIQUES OU LES MATÉRIAUX COMPOSITES...



DÉVELOPPER LES BIOCARBURANTS ET AINSI DÉCARBONER L'ÉNERGIE, OPTIMISER LE FONCTIONNEMENT DES BATTERIES ET PERMETTRE UN STOCKAGE PLUS EFFICACE DE L'ÉNERGIE...

OU ENCORE ÉTUDIER ET COMPRENDRE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE NOS ACTIVITÉS INDUSTRIELLES, MAIS AUSSI PLEIN D'AUTRES DOMAINES DE RECHERCHE EN LIEN AVEC LA SANTÉ, LA BIOLOGIE ET MÊME LA MATIÈRE INTERSTELLAIRE !



HOP!



OUPS...

BLOOO



ALLONS MANGER, JE T'EN DIRAI PLUS.



APRÈS TOUTES CES AVENTURES, CE N'EST PAS DE REFUS!

FIN



KanKr, de son vrai nom Simon Baert, est auteur. C'est le scénariste du duo Plop & KanKr, formé avec la dessinatrice Julie Besombes, alias Plop. Ensemble, ils publient régulièrement dans la presse régionale, nationale et internationale (*Le Monde*, *Siné Mensuel*, *Le Temps*, *Sud Ouest dimanche*, *Le Sans-culotte 85*, *L'Anjou Laïque*, *La Galipote*, *La Gazette du Béarn des gaves...*) et à la télévision (*Une semaine dans le monde* sur France 24). Ils sont membres des réseaux Cartooning for Peace et Cartoon Movement. Il scénarise aussi des BD de vulgarisation scientifique pour l'Université de Pau et des Pays de l'Adour dans le cadre du label Science avec et pour la société.

Sébastien Tessier signe ses ouvrages de bandes dessinées sous le pseudonyme **DAMOUR**, nom de jeune fille de sa mère. Né à la Roche-sur-Yon en 1972, amateur passionné de dessin, il vient faire des études d'arts plastiques en 1990 à Bordeaux où il réside toujours. Il décide de vivre de sa passion pour la bande dessinée et rencontre les Éditions Delcourt au salon d'Angoulême en 1994. Ce sera le début d'une longue collaboration avec le scénariste Jean-Pierre Pécau sur les séries *Nash* et *Le Testament du Docteur M*. Il a réalisé à ce jour 28 albums, avec divers scénaristes et coloristes, dont les séries *Pinkerton*, *La Cagoule*, *un Fascisme à la française* chez Glénat, ainsi que deux albums historiques, *Kennedy* avec Sylvain Runberg au scénario et *L'Étincelle* de Saint-Sardos, dont il est l'auteur, aux éditions Sud-Ouest. Il se passionne pour l'histoire et enchaîne les projets à caractère historique depuis quelques années.



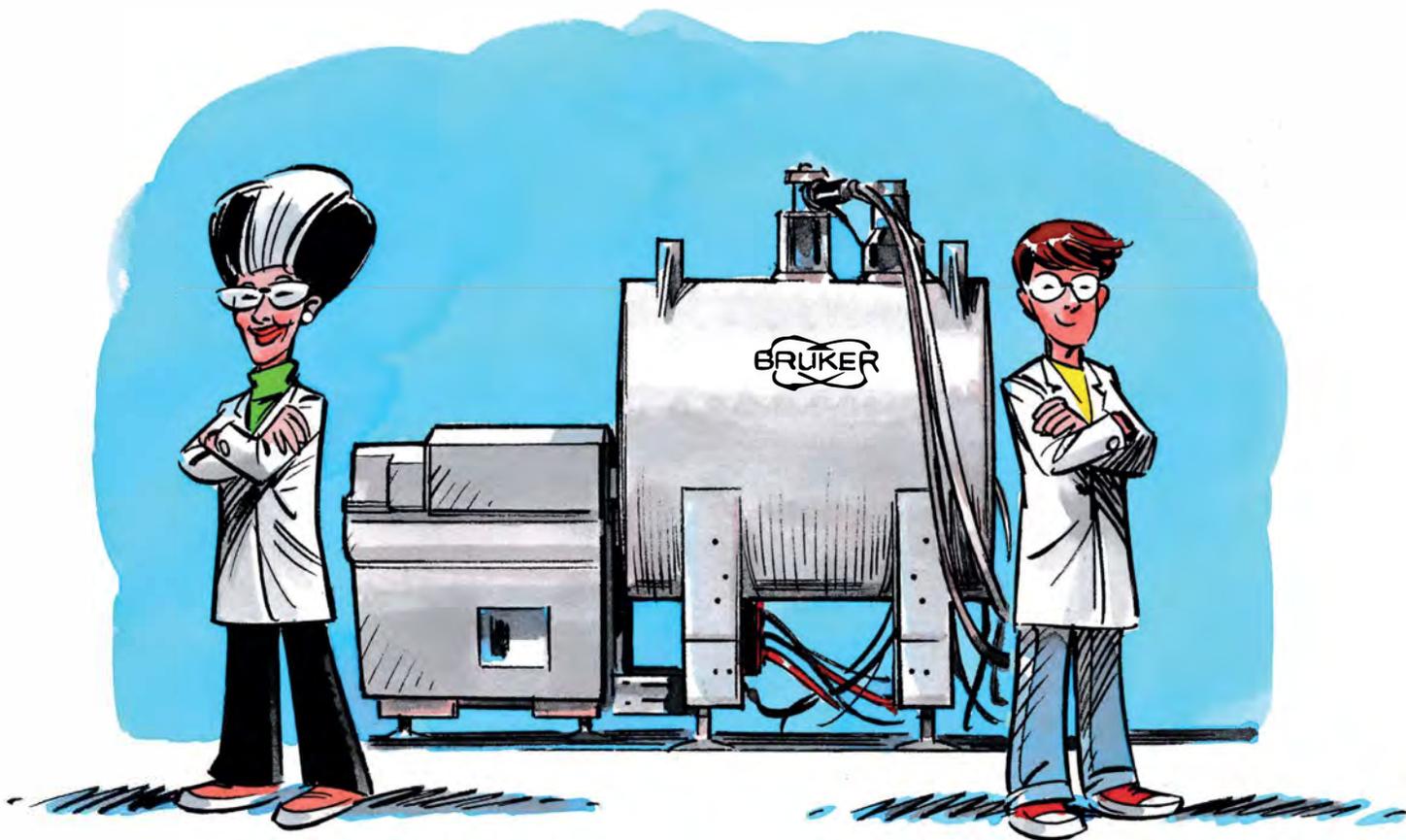
Plop, de son vrai nom Julie Besombes, est dessinatrice de presse, illustratrice et graphiste. Avec KanKr, elle forme le duo Plop & KanKr qui publie dans la presse régionale, nationale et internationale (*Le Monde*, *Siné Mensuel*, *Le Temps*, *Sud Ouest dimanche*, *Le Sans-culotte 85*, *L'Anjou Laïque*, *La Galipote...*) et pour la télévision (*Une semaine dans le monde* sur France 24). Elle réalise aussi des dessins de presse et de vulgarisation scientifique pour l'Université de Pau et des Pays de l'Adour dans le cadre du label Science avec et pour la société.

Cai Jiao Ping est enseignante de chinois et de français. Interprète et traductrice, elle enseigne à l'Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA), à l'Institut Confucius de Pau Pyrénées et à l'Université du Temps Libre d'Aquitaine. Elle forme de futurs enseignants de langue dans le parcours Français Langue Étrangère (FLE) et anime des stages et de nombreux ateliers. De plus, en tant qu'auto-entrepreneur, elle partage la culture chinoise à travers des cours pour tous âges et tout public.



Thomas Ferreira est éditeur et graphiste aux Presses universitaires de Pau et des pays de l'Adour (PUPPA). Il a notamment participé à la création de la revue en bandes dessinées *Ebullition(s)*, pour laquelle il est directeur artistique. Il est également illustrateur et designer graphique sous le nom d'Atelier Decafé.





ic2MC

INTERNATIONAL –
COMPLEX MATRICES
MOLECULAR
CHARACTERIZATION

