

NANOMONDE - EPISODE 1

CONDUCTEUR

TC IN : 00 00

GENERIQUE DE DEBUT (CARTONS SUR IMAGES)

UNE PRODUCTION
LA COMPAGNIE DES TAXI BROUSSE

AVEC LA PARTICIPATION DE
FRANCE TELEVISIONS

EN PARTENARIAT AVEC
EUROVISION SCIENCE ET LA COMMISSION EUROPEENNE, DG RECHERCHE

UN FILM DE
CHARLES-ANTOINE DE ROUVRE
JEROME SCEMLA

PRODUIT PAR
LAURENT MINI
KARIM SAMAI

00 00

COM PROLOGUE

Autour de nous, de vous, de moi... L'espace médiatique, scientifique, économique ne résonne plus que du préfixe nano. Je n'entends plus parler que de cette échelle, le milliardième de mètre, à peine quelques atomes.

L'agitation est planétaire : sciences et technologies annoncent grâce aux nanos un monde fascinant, des domaines de recherches presque infinis, et des perspectives miraculeuses.

Des matériaux à l'énergie, de l'environnement à la médecine, en passant par l'électronique, ou l'agriculture ; les nanos permettraient d'aller vers le plus performant, le plus résistant, le moins cher, le moins polluant...

Rien dans notre monde n'échapperait désormais aux nanos, une démesure qui me semble parfois effrayante...

Bienvenue dans le Nanomonde, dans les nanomondes...

01 08

TITRE

BIENVENUE DANS LE NANOMONDE

... DU MICRO AU NANO ...

01 06

COM

Bienvenue dans ce voyage, à la rencontre des initiateurs, des pionniers qui ont permis de pénétrer l'infiniment petit.

01 15

SUMIO IJIMA

PHYSICIEN

OK, On a le mètre... C'est grand comme ça... Le millième de mètre, c'est le millimètre. Et le millième du millimètre, c'est le micron. Et enfin, le millième du micron, c'est le nanomètre.

« Welcome to Nanoworld. »

01 43

COM

Nano ? vous avez dit nano ? À force d'entendre le mot mis à toutes les sauces, le néophyte que je suis y perd un peu son latin. Il est temps d'aller voir de plus près, et même de très, très près... Car les nanos c'est d'abord une échelle 10⁻⁹ mètres, le milliardième de mètres à peine quelques atomes. Un nanomètre c'est 4 atomes de silicium mis côte à côte. À cette échelle une poussière a la taille d'une planète. Entre le monde du macro, le nôtre, et celui du nano - en grec tout petit -, il y a le même rapport d'échelle qu'entre l'épaisseur d'un doigt et le diamètre de la planète Terre.

Au cours du XXème siècle, la quête de l'infiniment petit n'a cessé de faire fantasmer les scientifiques, et a bouleversé notre monde de l'informatique à la physique nucléaire, de la biologie à la science des matériaux. Aujourd'hui une nouvelle aventure s'engage, celle des nanosciences et nanotechnologies qui regroupent l'ensemble des disciplines qui étudient et utilisent les propriétés de la matière à cette échelle nanométrique.

02 54

COM

Et à cette échelle serions-nous capable de percer certains secrets de la nature et de la matière ? De réaliser les mêmes prouesses que les mouches et marcher au plafond... De voir nos membres repousser comme la queue d'un lézard. De faire des revêtements sur lesquels tout glisse comme sur une feuille de lotus. Ou encore de faire des piles aussi minces qu'une feuille de papier et aussi puissante qu'une centrale nucléaire, de fabriquer des câbles capables d'aller de la Terre à Lune, de faire des ordinateurs moléculaires...

Pour répondre à ces questions, je pars d'abord au Japon, dans la province de Nagano où je vais assister à une conférence donnée par le Britannique Sir Harold Kroto, un des pionniers de ce nanomonde et un de ses plus célèbres vulgarisateurs. Ici comme partout ailleurs, il est accueilli comme une star. Et pour commencer, il me donne sa vision des nanotechnologies.

SYNTHE :

SUZAKA

03 42

HAROLD KROTO

CHIMISTE

PRIX NOBEL DE CHIMIE 1996

Il existe plusieurs définitions des nanotechnologies. Celle que je préfère c'est : « l'assemblage atome par atome, molécule par molécule, pour créer des structures complexes ».

04 00

COM

Comment Harold, le chimiste, s'est-il retrouvé mêlé à cette histoire ? Professeur à l'université de Sussex au Royaume-uni, il voulait connaître la nature des longues chaînes de carbone que rejettent dans l'espace les étoiles en mourant.

Sur Terre nous connaissons les formes pures de ce même carbone, que sont le diamant, pour la bague au doigt et le graphite, dans la mine de crayon... Mais dans l'espace les atomes de carbone semblent s'assembler pour former d'autres types de structures.

Pour comprendre lesquelles, Harold décide de reproduire en laboratoire les conditions de la naissance de ces poussières stellaires. En 1984, à Houston au Texas, il rejoint Bob Curl et Richard Smalley qui disposent du matériel et de l'équipe la plus en pointe...

04 41

HAROLD KROTO

CHIMISTE

PRIX NOBEL DE CHIMIE 1996

Je suis allé à Rice University pour réaliser cette expérience. Au bout d'environ 3 jours, nous sommes arrivés à un résultat incroyable : nous avons observé un signal extrêmement fort, qui nous indiquait qu'on avait là 60 atomes de carbone assemblés sous la forme d'une structure très stable. C'était une surprise totale ! On s'est dit qu'une forme ronde pouvait expliquer ce résultat.

Et donc, d'un seul coup, malgré la théorie selon laquelle le graphite adopte toujours une forme plane, nous avons soudain découvert qu'à une toute petite échelle, c'est à dire lorsqu'on a seulement 60, 100, 1000, ou même jusqu'à 10 000 atomes, le graphite ne veut pas rester plat. Il veut se courber.

On était surexcité.

05 35

COM

L'expérience dépasse toutes les attentes. 60 atomes de carbones s'assemblent pour former un objet qui ne peut au vu des calculs qu'être sphérique, rond comme un ballon de football. C'est le C60 le premier membre d'une nouvelle famille de composés du carbone baptisé Fullerène par Kroto lui-même. Du nom de l'architecte visionnaire Buckminster Fuller, qui pour l'exposition universelle de 1967 avait construit un dôme à la silhouette prémonitoire.

05 58

IN HAROLD KROTO

Hello, how are you ?

How much do I have ? 1, 2, 3, 4...

06 04

COM

En découvrant cette nouvelle molécule, en montrant qu'elle pouvait s'auto-assembler à partir d'atomes de carbone, en étudiant les caractéristiques et les propriétés spécifiques liées à sa taille, les scientifiques font pour la première fois objectivement des nanosciences et technologies... et c'est ainsi que Kroto et ses fullerènes feront décoller le nanomonde...

06 24

HAROLD KROTO

CHIMISTE

PRIX NOBEL DE CHIMIE 1996

Ça n'a pas eu tant d'impact que ça, en 1985... Nous n'avions que des suppositions...Il fallait tout prouver. D'ailleurs, les 5 premiers papiers affirmaient qu'on avait tout faux. Ces articles étaient stupides.

06 35

COM

Stupide. Totalemement stupide.

D'ailleurs ils obtiennent la preuve de l'existence de cette forme de carbone sphérique... Et Kroto, Curl et Smalley reçoivent en 1996 le prix Nobel de chimie.

L'aventure est lancée. Mon voyage continue. Pour connaître les dessous de l'affaire, je me dois de faire un petit tour en Californie.

SYNTHE :

PASADENA

07 07

COM

C'est là que je retrouve James Heath, l'un des étudiants qui travaillaient à Rice avec Kroto lorsqu'il découvrit le C60. Depuis, l'étudiant a fait du chemin. Il dirige aujourd'hui la plateforme de nanotechnologies du California Institute of Technology, le CALTECH..

07 24

JAMES HEATH

CHIMISTE

CALTECH

Le C60 a été la première découverte, totalement inattendue. À partir de cette découverte, les scientifiques ont été obligés de repenser tout ce qu'ils croyaient savoir sur le carbone - et le carbone, c'est l'élément de base de toute la bio chimie. Avant ça, personne n'avait imaginé du « carbone courbe » !

Et donc... Avant le nanomonde, pour modifier un matériau, on modifiait sa composition chimique, les différents éléments qui le composent, et pour ça on se basait sur le tableau périodique des éléments, c'était le seul moyen.

Maintenant on peut aussi intervenir au niveau de la taille et la forme, ce qui nous donne un contrôle bien plus important, ça change tout.

Ce qui a vraiment émergé ces dernières années, ce qui a donné une nouvelle dimension excitante en chimie et en physique, c'est cette possibilité de contrôler à un niveau très pointu la taille et la forme des matériaux et donc leurs propriétés.

IN

How's that ?

08 17

L'ENQUÊTEUR

Qui ont été les précurseurs dans les « nanotechnologies » ?

08 20

JAMES HEATH

CHIMISTE

CALTECH

Feynman, ici au Caltec, a été le premier, lors d'un discours, à poser les bases des nanotechnologies. C'était en 1959 je crois, et son discours a été très largement incompris, jusqu'à il y a une vingtaine d'années.

08 39

ARCHIVE

RICHARD FEYNMAN

Le comportement des éléments à une petite échelle est tellement extraordinaire, tellement différent, si merveilleusement différent de quoi que ce soit à grande échelle. On dit que les électrons se comportent comme des ondes. Et bien non, pas exactement; qu'ils se comportent comme des particules, pas exactement; qu'ils se comportent comme un nuage autour du noyau. Non, pas exactement.

09 00

COM

Feynman, lui aussi auréolé d'un prix Nobel, a eu une intuition dans les années 1950. « Arrêtons de chercher à réduire, construisons à partir de l'infiniment petit, à partir de l'atome ».

Si la nature conçoit les éléments à partir d'un savant assemblage d'atomes et de molécules, selon Feynman l'homme pourrait un jour faire de même.

Si l'on maîtrise l'organisation de tels éléments lilliputiens à très grande échelle, il devrait être possible de construire n'importe quel objet, caillou ou grille-pain. Et en plus, la bonne nouvelle, c'est qu'à l'échelle atomique, le monde est infiniment... vaste.

Il y a plein de place en bas. Entre les atomes qui composent la matière. Dans l'épaisseur d'une feuille de papier, il serait possible d'empiler environ 400 000 atomes de métal. Et il resterait encore de la place...

Mais construire quoi ? Et surtout comment ? Il faudra du temps avant de commencer à trouver des réponses à ces questions...

09 49

JAMES HEATH
CHIMISTE
CALTECH

Ce qui s'est passé, c'est que durant ces 10 ou 20 dernières années, les chimistes ont appris à construire et à contrôler des molécules d'une taille de quelques nanomètres avec une très grande précision. Dans le même temps, les ingénieurs qui travaillaient dans l'électronique et les circuits intégrés ont commencé à fabriquer des structures de plus en plus petites. Quand ces deux mondes se sont rencontrés, ils se sont rendu compte qu'ils travaillaient à la même échelle. C'est de cette rencontre que sont nées les nanotechnologies.

10 15

COM

Retour au Japon. Kroto poursuit ses visites et ses rencontres. Et moi, je continue à apprendre... Que la taille compte par exemple... Bouleversant bien des idées reçues...

A l'échelle du nanomètre, à cette échelle de l'infiniment petit, les propriétés de la matière change. Ce ne sont plus les mêmes règles, celles du monde qui nous entoure tous les jours, qui déterminent les possibilités et le comportement des choses.

10 43

HAROLD KROTO
CHIMISTE
PRIX NOBEL DE CHIMIE 1996

Plus on va vers le très petit, plus on s'approche de l'atome, et plus les propriétés de la matière change. Un bon exemple, c'est l'eau..

Si vous versez de l'eau sur un plateau, eh bien cette eau va rester plate, à cause de la gravité. La mer, par exemple, est plate, pour cette raison. En revanche, si vous observez une petite goutte d'eau, elle est ronde, c'est une sphère, car ce n'est plus la gravité qui la contrôle, ce sont les effets de surface. À cette petite échelle, ces forces dominant celles de la gravité.

Quand on s'approche des atomes et des molécules, on commence à se poser des tas de questions. Comment sommes-nous construits, comment nos atomes sont liés les uns aux autres ? Et là on parle en fait d'effets quantiques, et nous en sommes le résultat.

11 36

COM

Un effet quantique... Qu'est ce que c'est ? Un comportement différent de la matière lié à la physique quantique... Et cette physique quantique qu'est ce que c'est ? D'autres lois de physique que celles qui régissent le monde qui nous entoure...

Un exemple... Si je prends une balle, la lance contre un mur. Dans notre monde elle rebondit. Mais si je suis tout petit, et que cette balle est de taille nanométrique, lorsqu'elle heurte le mur, elle rebondit bien sûr mais aussi, elle traverse, Elle est ici, là, ailleurs et nulle part... !

Si vous n'y comprenez pas grand chose, moi non plus, et les plus grands chercheurs s'interrogent toujours...

12 13

JAMES HEATH
CHIMISTE
CALTECH

Bon alors, heuh, la mécanique quantique ce sont des phénomènes très étranges. Par exemple, si vous essayez de déterminer avec une très grande précision où se trouve cet objet, eh bien vous ne pourrez pas savoir où il va. Et si vous voulez savoir très précisément où il va, et bien vous ne saurez pas où il est.

Ça s'appelle le « Principe d'Incertitude », ça a été énoncé par Heisenberg. C'est une des bizarreries de la mécanique quantique...

12 35

HAROLD KROTO
CHIMISTE
PRIX NOBEL DE CHIMIE 1996

Je vous donne un exemple très simple : le fait que vous soyez capable de voir les couleurs est déjà un effet quantique. On n'en a pas conscience, on y est tellement habitué, mais pourtant personne ne peut expliquer la couleur des choses.

Et plus on descend vers les composants de la matière, plus les effets quantiques deviennent importants.

12 57

COM

Qui dit nouvelles propriétés dit nouvelles applications. Mais ne nous avançons pas trop... Ces propriétés, il faut d'abord les connaître, les répertorier,...

Il a fallu attendre 1981 et l'invention du microscope à effet tunnel pour qu'un nouveau pas soit franchi : voir la matière à l'échelle atomique - une autre étape cruciale de l'histoire des nanosciences et technologies

Et là c'est à nouveau en Europe que ça se passe. Rendez-vous dans le sud de l'Allemagne en Bavière. Avec Gerd Binnig, un autre prix Nobel.

SYNTHE :
MUNICH

13 31

ENQUETEUR

We were wondering where to meet you...

It's the easiest way....

13 40

GERD BINNIG
PHYSICIEN
PRIX NOBEL DE PHYSIQUE 1986

On a cherché, parmi toute la technologie existante, celle qui permettait d'étudier les détails les plus fins, et il n'y avait rien. Alors on s'est dit, si il n'y rien, il faut inventer quelque chose qui nous permettent d'étudier les plus petites structures.

Et après à peine quelques mois de réflexion, nous avons décidé de construire un microscope plus puissant que tout ce qui existait.

14 10

COM

Ainsi soit il, et le Microscope à effet tunnel était né...

14 17

JAMES HEATH

CHIMISTE

CALTECH

Ce qu'ils ont fait, c'est... Ils ont révélé l'image d'une surface...Un peu comme on recréerait l'image de ce sol à partir de l'image de tous les carreaux qui le composent.

Eux, ils ont révélé l'image de la surface d'une galette de silicium, et pour la toute première fois ils ont pu voir, la disposition de ces atomes, un par un, et ils ont réalisé une carte de cette structure atomique.

14 36

GERD BINNIG

PHYSICIEN

PRIX NOBEL DE PHYSIQUE 1986

En fait, vous avez deux éléments. D'un côté vous avez le matériau que vous voulez observer, vous aurez donc un échantillon, un échantillon de cette table par exemple, qui sera composé d'atomes...

Ils seront à peu près comme ça, des objets ronds, organisés d'une certaine façon, avec dessous d'autres atomes, des atomes partout. ... Et maintenant pour voir où se trouvent ces atomes, comment ils s'organisent, vous utilisez le deuxième élément, une pointe extrêmement fine, un peu comme une aiguille en acier, sauf que cette aiguille est composée d'atomes et qu'elle a cette forme très pointue.

On a donc un atome ici, et d'autres là, en volume, et ça forme une pointe, à partir de tous ces atomes.

À partir de là on s'approche, on applique un courant électrique qui circule entre les deux éléments, et lorsque le courant peut passer, on sait où se trouve le premier atome. Ensuite, on peut se déplacer sur le côté.

Puis on arrive à ce point ici et en répétant ce procédé d'une façon continue, en se déplaçant par là, on voit la structure atomique. On procède ligne par ligne, c'est ce qu'on appelle un « scan », et en additionnant toutes ces lignes, on obtient une image de cette surface.

16 01

GERD BINNIG

PHYSICIEN

PRIX NOBEL DE PHYSIQUE 1986

Pour la première fois, en regardant une surface, on pouvait voir sa structure en haute résolution et on découvrait tous les atomes qui se trouvaient là et formaient cette superbe structure.

Alors bien sûr, ça a été un moment très émouvant.

16 30

HAROLD KROTO

CHIMISTE

PRIX NOBEL DE CHIMIE 1996

On a besoin de cette sensation physique. C'est mieux qu'une représentation mathématique.

Je me souviens que lorsque j'étudiais les molécules, la seule indication que j'avais, c'était des signaux sur des graphiques, alors que maintenant on peut vraiment VOIR ces molécules. A mon sens, il n'y a aucun doute : les êtres humains ont besoin d'une représentation physique. Ça nous aide. Même si cette représentation n'est pas réellement parfaite, car on sait bien, grâce à la mécanique quantique qu'à cette échelle, les images sont trompeuses. Mais elles nous aident, pour développer de nouvelles idées, de nouvelles expériences. Il faut juste faire attention à ne pas les prendre au pied de la lettre.

17 09

COM

Grâce à l'invention de Gerd Binnig et Heinrich Rohrer, maintenant on peut voir Voir une représentation... voir les atomes un par un, un monde fantastique et merveilleux se dévoile. Et cette pointe qui scanne la matière permet d'aller encore plus loin...

17 29

GERD BINNIG

PHYSICIEN

PRIX NOBEL DE PHYSIQUE 1986

Pour la première fois, on est entré en contact avec des atomes ; aucune autre méthode ne permettait de toucher les atomes.

Quand on touche un atome, on le comprend mieux, on peut jouer avec, on peut le pousser...

17 51

GERD BINNIG

PHYSICIEN

PRIX NOBEL DE PHYSIQUE 1986

Et on peut même construire des structures artificielles atome par atome, et d'ailleurs ça a été fait depuis. Ça n'est pas un rêve, ça existe d'ores et déjà.

18 05

COM

À peine ces possibilités du microscope à effet tunnel mises en évidence, certains ce sont mis à déplacer les atomes un par un pour construire des structures des plus sérieuses aux plus fantasques. Qu'importe le sujet, l'important était de démontrer que l'on pouvait dessiner, fabriquer à l'échelle atomique... mais bien sûr il y a des limites.

Assembler une feuille de papier en ajoutant un million d'atomes par seconde prendrait plus de 13 milliards d'années...

18 30

GERD BINNIG

PHYSICIEN

PRIX NOBEL DE PHYSIQUE 1986

Construire atome par atome avec un microscope à effet tunnel, ça prendrait beaucoup trop longtemps. Il faudrait des années pour assembler une structure complexe. On ne peut donc pas le faire avec ce type de microscope. En revanche, on peut combiner son utilisation avec l'auto-assemblage, en plaçant, par exemple, un atome ici, un autre là et un autre encore ailleurs. Le reste se construit ensuite par auto-assemblage.

18 56

COM

L'auto assemblage, c'est simplement la capacité de la matière à s'organiser toute seule. À l'image des cellules du vivant.

19 14

HAROLD KROTO

CHIMISTE

PRIX NOBEL DE CHIMIE 1996

Le meilleur exemple d'auto assemblage par « bottom up », c'est à dire atome par atome, molécule par molécule, c'est l'être humain.

Parce que c'est comme ça que nous avons été assemblé et construit, à partir de molécules.

Ce que nous avons appris du vivant, c'est qu'il existe une méthode pour construire des systèmes très complexes... Des genres de machines, si vous voulez. Des machines qui construisent brique par brique. Et c'est vraiment comme ça que procèdent les ribosomes dans les cellules, lorsqu'elles attrapent toutes ces briques, les protéines, et les assemblent en suivant l'incroyable programme de l'ADN.

19 14

COM

De cette idée presque insensée, que ce que peut faire la nature, un jour l'homme saura lui aussi le faire - bref de ramener les mécanismes du vivant à de simples problèmes technologiques -, naît dans les années 1990 l'idée de construire *bottom-up*, - de bas en haut, de construire en assemblant les atomes un par un grâce à l'auto organisation. Plus besoin de couper un arbre pour obtenir un cure-dent – plus besoin de faire du faire du Top Down, d'aller plus gros au plus petit – il suffirait de faire du Bottom-up : d'assembler les atomes qui composent ce cure-dent....

Des esprits délirants, visionnaires ou prophétiques rêvent déjà à l'époque de machines moléculaires qui effectueraient ces opérations.

20 35

ARCHIVE

ERIC DREXLER

Si l'on considère que l'objectif de la technologie, c'est de fabriquer des choses en réarrangeant les briques mêmes de la matière et si l'on considère qu'aujourd'hui on est capable de prendre ces briques et de les déplacer, de les assembler où on le souhaite, il me paraît évident qu'on est à l'aube d'une révolution aux implications gigantesques qui pourrait changer la façon dont nous fabriquons quasiment tout.

20 58

COM

Eric Drexler imagine par exemple dans son livre « Les engins de la création » des installations, des sortes de robots capables d'assembler d'autres robots copies d'eux-mêmes, qui travailleront simultanément, à la chaîne, pour créer, atome par atome, et à grande vitesse les objets que nous désirons.

Terminés les procédés gourmands en matières premières et en énergie. On pourrait façonner des objets à partir des briques même de la matière, les atomes, les fabriquer sans déchets, défauts ni

impuretés. Un fantôme décrit par la communauté scientifique, mais qui alimente la machine à rêve.

21 51

COM

Aujourd'hui tout cela reste de la pure science-fiction. Et pourtant...

SYNTHE :

HOUSTON

21 57

COM

Pourtant je découvre qu'au Texas, précisément à Rice University, là- même où Harold Kroto a mis au jour les fullerènes, un scientifique fabrique des molécules capables de transporter des atomes. Des nanovoitures, ou nanocamions... Un concept qui peut sembler délirant.

Il s'appelle Jim Tour et ses idées, ses travaux peuvent faire croire à un illuminé... Et pourtant !

22 16

IN

JAMES M. TOUR

Put those glasses on...

22 17

JAMES M. TOUR

CHIMISTE

UNIVERSITE RICE

La plupart des recherches qu'on fait ici concerne les nanovoitures.

Une nanovoiture a 4 roues, elle peut rouler sur une surface. De ce point de vue, elle ressemble donc beaucoup aux voitures qu'on connaît.

On part d'un élément qui va servir de châssis, puis on ajoute d'autres éléments qui vont servir de pivots, molécule par molécule, par « bottom up », puis on y ajoute les roues, toujours par bottom up, c'est-à-dire en partant des plus petits éléments, du bas vers le haut. Certaines ont des moteurs et comme elles sont minuscules, selon le modèle, on peut en garer entre 20 et 30 000 sur le diamètre d'un seul cheveu. Elles sont vraiment petites.

C'est la lumière qui leur fournit de l'énergie. Quand on les éclaire, elles se mettent à rouler.

23 20

COM

En une seule opération Jim Tour est capable de produire plusieurs milliards de nanovoitures. Un 1 avec 18 zéros derrière. Plus que tout ce que l'industrie automobile a produit dans toute son histoire.

23 40

JAMES M. TOUR

CHIMISTE

UNIVERSITE RICE

On est loin d'être capable de construire de grandes structures avec cette méthode. Nous savons juste attraper un à un les atomes, pour les déplacer où on le souhaite.

Mais imaginez dans un siècle, ces nanovoitures transporteront des objets et assembleront des structures aussi grandes que des immeubles.

Car en fait, cela fait cinq mille ans que nous construisons des bâtiments de la même manière, brique par brique, avec du mortier et des poutres. Mais existerait-il un moyen de construire par « bottom up » ?

Beaucoup de gens pensent qu'on ne peut pas construire suffisamment vite de cette façon-là. Mais en fait, si : il existe des variétés d'herbe qui parviennent à pousser d'un mètre en une seule journée.

Donc, tout ce qu'il nous reste à faire, c'est apprendre à reproduire ce phénomène. Il n'y a rien de magique dans la nature, c'est juste un système complexe.

L'idée derrière les nanovoitures c'est d'abord de comprendre le mouvement, puis de savoir comment saisir un objet et le déplacer et d'arriver ensuite à répéter ces opérations et à les coordonner à grande échelle pour construire des structures plus grandes.

24 39

L'ENQUÊTEUR

Et donc avec vos nanovoitures, vous serez capables de construire des voitures comme celles-ci !

JAMES M. TOUR

CHIMISTE

UNIVERSITE RICE

Absolument...

25 00

COM

Après la découverte des fullerènes, la mise au point du microscope à effet tunnel, l'étude des phénomènes d'auto-assemblage et l'idée de construire directement à partir des briques de la matière, les années 1990 vont être marquées par une nouvelle découverte qui va faire sortir les nanotechnologies des laboratoires pour les projeter pour la première fois dans le monde des applications industrielles...

Les nanotubes de carbone...

Aux propriétés presque incroyables : 6 fois plus léger et 100 fois plus résistant que l'acier... Certains nanotubes sont même plus durs que le diamant... avec des caractéristiques de conducteurs, ou de semi conducteurs...

Pour rencontrer l'acteur historique de leur découverte, je me rends au Japon, à une centaine de kilomètres de Tokyo où je retrouve le fringant Sumio Iijima

SYNTHE :

TSUKUBA

25 38

SUMIO IIJIMA

PHYSICIEN

NEC

Carbon - Nano -Tubes. Trois mots.

Les nanotubes de carbone sont composés d'atomes de carbone, ils ont une forme tubulaire, et ils sont très petits, nanométriques.

Ces nanotubes sont de la même famille que le graphite, mais leurs propriétés sont très différentes et ils n'existent pas à l'état naturel. Ce sont des objets artificiels, un matériau synthétique, que nous créons.

Tenez, regardez... En voici, là. Ça, ce sont des nanotubes de carbone. Agrandis des millions de fois.

26 38

L'ENQUETEUR

Je peux voir ce que vous... Est-ce que je peux jeter un coup d'œil ?

SUMIO IJIMA

PHYSICIEN

NEC

Oui, oui, bien sûr.

26 42

L'ENQUETEUR

Ah oui, c'est pas mal.

SUMIO IJIMA

PHYSICIEN

NEC

Oui, on voit plutôt bien. Comme si c'était des cordes.

Ce qu'on voit là, ce ne sont pas des nanotubes isolés, ce sont des paquets de nanotubes de carbone. Je vais agrandir. Là on a une image typique de ces nanotubes.

27 06

L'ENQUETEUR

Quelle est la taille de ce que l'on observe, là ?

SUMIO IJIMA

PHYSICIEN

NEC

Ceux-là font entre 1 et 3 nanomètres de diamètre.

27 18

COM

Petit retour en arrière, sur les circonstances de cette découverte des nanotubes par Sumio Iijima.

27 26

SUMIO IJIMA

PHYSICIEN

NEC

Dans les années 80, en 1985, la molécule de fullerène a été découverte. Mais à l'époque, les gens ne s'intéressaient pas encore vraiment à ce matériau. Et mon ami Harry Kroto, qui a eu le Nobel, m'a dit un jour en insistant : « Sumio - c'est mon prénom -, tu devrais travailler sur ce matériau, tu connais déjà bien le carbone », et donc je me suis investi dans ce domaine de recherche. Et en

1991, par accident, derrière des fullerènes que j'avais synthétisé, juste à côté, j'ai trouvé un matériau à la forme allongée.

C'est comme ça que ça a commencé.

28 24

L'ENQUETEUR

C'était une surprise de découvrir ce matériau ?

28 28

SUMIO IJIMA

PHYSICIEN

NEC

Oui, parce que d'habitude, le carbone se présentait sous une forme massive, sphérique, ou alors comme un agrégat rectangulaire. Mais un matériau aussi allongé, c'est tellement rare dans la nature.

28 49

COM

En quelques années, ces nanotubes deviennent l'icône du nanomonde, la figure emblématique des nanotechnologies grâce à Sumio Iijima. Voilà pour l'histoire officielle .

Mais je découvre aussi l'histoire officieuse. Un autre Japonais Morinobu Endo, dès les années 1970, aurait mis le doigt sur ces structures, mais sans pouvoir les analyser ou leur donner un nom. Et la légende veut même que bien avant encore, dès les années 1950 des Russes évidemment, les auraient aussi aperçus dans leurs laboratoires...

29 18

L'ENQUETEUR

Que s'est-il passé dans les années 70 ?

29 20

MORINUBO ENDO

CHIMISTE

UNIVERSITE SHINSHU – NAGANO

On a trouvé ces tous petits tubes... Et les gens me disaient, oh, Endo, c'est très beau, scientifiquement.

Mais il était trop tôt pour imaginer d'en produire massivement, pour des applications. Il m'était donc très difficile de convaincre les gens, partout dans le monde, de travailler sur ce nouveau matériau.

29 48

COM

Depuis Morinobu Endo s'est rattrapé. Il est pressé, très pressé.

29 51

IN

Thank you very much...

29 52

COM

Et il m'invite à le rejoindre au Congrès sur le carbone qu'il organise à Nagano... Toute la fine fleur du carbone mondial est rassemblée pour parler propriétés du carbone et applications... et il a convié son vieux complice... son ami Harry Kroto ; superstar et invité d'honneur.

30 20

MORINUBO ENDO

CHIMISTE

UNIVERSITE SHINSHU – NAGANO

Les nanotubes de carbone peuvent être utiles dans toutes les technologies fondamentales du 21ème siècle. Nous sommes donc très motivés pour que ce matériau innovant soit utilisé le plus possible aujourd'hui dans tous ces domaines.

Par exemple, dans les gros avions actuels il y a environ une tonne de câbles électriques. Si on les remplaçait par des nanotubes de carbone, on pourrait peut-être réduire ce poids d'un dixième.

Pour le moment, nous n'avons pas encore réussi à fabriquer des nanotubes conducteurs aussi longs. Pourtant, scientifiquement, il devrait être possible de faire pousser des nanotubes aussi longs qu'on le souhaite, d'un kilomètre, de deux kilomètres, des nanotubes qui irait du Japon à Hawaii. Mais pour cela, il nous faut encore faire de véritables progrès techniques.

31 17

HAROLD KROTO

CHIMISTE

PRIX NOBEL DE CHIMIE 1996

Attention, il ne faut pas oublier qu'il s'agit là de quelque chose d'incroyable : on a affaire à un objet, dont le diamètre est un million de fois plus petit que celui d'un ballon de foot. En fait, le rapport entre le diamètre de la terre et d'un ballon de foot est le même qu'entre ce ballon de foot et le nanotube de carbone.

Et en même -temps on voudrait que ce nanotube fasse plusieurs mètres de long.

31 45

COM

Outre leur conductivité électrique et thermique, les nanotubes présentent une résistance mécanique dépassant celle des meilleurs matériaux actuels, par exemple l'acier ou le kevlar. Elle devrait permettre un allègement significatif des matériaux.

Les nanotubes ont aussi une excellente résistance chimique en présence de produits oxydants, ou permettent d'envisager des applications pour stocker l'énergie. Les nanotubes de carbone devraient donner la possibilité par exemple de fabriquer des batteries capables d'emmagasiner et de restituer à volume égal 10 fois plus d'énergie.

Les applications semblent pouvoir toucher tous les domaines de l'électronique à la santé... Et la production de nanotubes a déjà commencé...

32 25

SUMIO IJIMA

PHYSICIEN

NEC

Voici l'appareil qui nous sert à produire les nanocornes de carbone. Les nanocornes de carbone sont comme les nanotubes. Les nanotubes ont un diamètre constant, tandis que les nanocornes sont semblables aux cornes d'un taureau, d'où leurs noms.

C'est donc ici que nous chargeons le matériau, les blocs de carbone.

32 49

L'ENQUETEUR

Donc ça, c'est du carbone ?

SUMIO IJIMA

PHYSICIEN

NEC

Oui, c'est du carbone.

Donc à l'intérieur de l'appareil ces tubes tournent sur eux-mêmes, pendant qu'on applique sur eux un faisceau laser, vous voyez ici la trace du rayon du laser.

33 01

L'ENQUETEUR

Et ça, ça sert à quoi ?

33 02

SUMIO IJIMA

PHYSICIEN

NEC

Je ne sais pas !

C'est là que le carbone s'évapore, pour aboutir à nos nanocornes de carbone, qui sont extrêmement légères comme de la suie.

On les fait ensuite passer dans ces grands réservoirs, puis ils arrivent enfin dans ce petit container, là. On les récupère ici. Et voilà à quoi ça ressemble.

Vous voyez, c'est tellement léger. Même si ce récipient était plein, il ne pèserait pas plus de 5 grammes.

33 45

L'ENQUETEUR

Quelle quantité de nanocornes produisez-vous ici ?

SUMIO IJIMA

PHYSICIEN

NEC

300 grammes par jour. C'est une méthode plutôt efficace.

34 02

SUMIO IJIMA

PHYSICIEN

NEC

On peut en acheter, ça coûte 500 dollars le gramme. C'est donc encore un matériau très cher. Plus cher que le platine, ou que l'or.

34 02

COM

Voir le nanomonde, le toucher, découvrir de nouvelles formes de la matière, imaginer construire atome par atome, fabriquer les premiers nanotubes. Tout cela aurait pu rester au fond des laboratoires, presque un délire de scientifique obsédé par l'infiniment petit s'il n'y avait pas eu cet homme. Un personnage à l'allure singulière,... un Américain qui derrière son fort accent roumain cache l'éloquence d'un prophète... Mihael Roco, le pape des nanotechnologies. C'est lui qui va donner le coup de pied ultime qui va propulser les nanosciences et les nanotechnologies sur le devant de la scène...

SYNTHE :
GRENOBLE

COM

Il est reçu en France comme un invité de marque par le directeur du flambant neuf Minatech - centre dédié aux nanotechnologies, inauguré en 2006, et regroupant sur 20 ha, 2400 chercheurs...

35 03

IN

This is Vercors...

35 25

MIHAIL C. ROCO

NATIONAL SCIENCE FOUNDATION

J'ai eu l'occasion, en mars 1999, d'être reçu à la Maison Blanche, lors d'une rencontre avec les responsables politiques de la science et des technologies.

On m'a donné 10 minutes pour expliquer tout ce que les nanotechnologies pouvaient apporter à la société.

On a réussi à les convaincre de l'importance de ce domaine, à tel point qu'ils ont fait figurer les nanotechnologies dans leur stratégie à long terme. C'était exceptionnel, parce qu'un an plus tôt, aucun d'entre eux ne savait ce qu'étaient les nanotechnologies!

35 59

IN

Nanotechnology...

MIHAIL C. ROCO

NATIONAL SCIENCE FOUNDATION

Le 18 Décembre 1999, on m'a demandé de ne plus parler de nanotechnologies aux médias, car le Président voulait en parler lui-même.

36 15

SYNTHE :

ARCHIVE BILL CLINTON - 2001

Bientôt, les chercheurs vont créer des appareils capables de traduire aussi vite qu'on parle... On aura des matériaux 10 fois plus résistants que l'acier et beaucoup plus légers. On aura aussi, et ça, je trouve ça incroyable, des ordinateurs moléculaires, de la taille d'une goutte d'eau, dotés de la même puissance que nos supers ordinateurs les plus performants.

Pour accélérer les progrès scientifiques et technologiques dans toutes ces disciplines, je vous demande d'accorder votre soutien à mon projet de financement sans précédent, à hauteur de 3 milliards de dollars pour la recherche du 21ème siècle. Il s'agit de la plus forte augmentation budgétaire pour la recherche civile à notre époque. Nous le devons à notre futur.

37 07

MIHAIL C. ROCO

NATIONAL SCIENCE FOUNDATION

Ça a eu un impact énorme. Dans le monde des affaires comme dans celui de la politique. En fait, l'effet immédiat, ça a été la réaction du Japon. En apprenant que les Etats-Unis allaient engager un demi-milliard de dollars rien que dans les nanotechnologies, les Japonais ont décidé d'investir autant dans leur programme de recherche, sans avoir préparé quoi que ce soit.

37 35

COM

Un discours présidentiel... une prise de position politique... et le monde s'enflamme.

Les Etats-Unis lancent la National Nanotechnology Initiative, dès 2001.

L'Europe réagit elle aussi très rapidement, comme me le raconte en Belgique Renzo Tomellini, le directeur de l'initiative européenne en Nanotechnologies entre 2003 et 2008.

SYNTHE :

BRUXELLES

37 59

RENZO TOMELLINI

CHEF DE L'UNITE NANOTECHNOLOGIES 2003-2008

COMMISSION EUROPEENNE

« Il y a une compétition forte, on est tous au même moment de l'histoire, il n'y a pas une économie qui est particulièrement en avance. D'une façon structurelle, il y a des secteurs où l'Europe a bien bouger et plus tôt que d'autres pays de l'union européenne. Avec la recherche européenne depuis les années 1980, l'Europe est active dans les nanotechnologies. »

38 22

L'ENQUÊTEUR

Les investissements européens par rapport au reste du monde dans ce domaine des nanotechnologies, ils correspondent à quoi ?

38 28

RENZO TOMELLINI

CHEF DE L'UNITE NANOTECHNOLOGIES 2003-2008

COMMISSION EUROPEENNE

Les programmes de recherches européens ont commencé à donner des fonds pour les recherches des nanotechnologies, avec déjà le quatrième, le cinquième programme cadre, le septième

*programme cadre dans la période de 2007 à 2013, a déjà dans sa première année donner quelque chose comme 600 millions d'euros pour soutenir les nanotechnologies.
En 2007, les états membres de l'union européenne ont dépassé 1 milliard d'euros de soutien.*

38 54

COM

Investissements, retombées économiques... Les chiffres donnent le tournis et pour les décrypter je vais voir aux Etats-Unis celui qui est l'auteur de l'une des études les plus complètes sur le sujet. Mark Bunger est consultant chez Lux Research un cabinet spécialisé dans la prospective économique...

39 10

IN

Hi !...

39 18

COM

Il commence par me proposer de faire un petit shopping nano dans un magasin d'articles de sport de la ville.

39 34

MARK BÜNGER

EXPERT

LUX RESEARCH

Voilà le résultat de notre nano-shopping dans un magasin de sport...

39 36

L'ENQUETEUR

Alors, ça donne quoi ?

39 37

MARK BÜNGER

EXPERT

LUX RESEARCH

En fait, plusieurs de ces produits intègrent des nanotubes de carbone. L'idée, pour cette raquette par exemple, ou celle-là, est que les nano matériaux permettent de renforcer leur structure. On frappe la balle, et toute l'énergie de votre coup va dans la balle, sans déformer en retour la raquette.

Et ça c'est des nanotechs d'un autre genre : les nageurs veulent aller vite mais le frottement est un des facteurs qui peut les ralentir. Donc aujourd'hui, de nombreuses combinaisons intègrent un revêtement nano hydrophobe, qui repousse l'eau, et permet de réduire la friction et de nager un peu plus vite.

Là, on a à nouveau des nanotubes de carbone intégrés dans un cadre de vélo, ce qui le rend plus résistant et plus léger. Certaines personnes aiment être à la pointe de la technologie au niveau de leur équipement sportif, même s'ils ne savent pas vraiment ce que ça leur apporte en plus. Je pense donc qu'il y a également un aspect psychologique qui joue, qui est tout au moins aussi important

que la réalité matérielle. A mon sens, il faut être un athlète de très haut niveau pour réellement sentir la valeur ajoutée de ces produits.

40 56

COM

Ici on parle encore de nanotubes, mais les applications dépassent largement ceux-ci et ne se limitent pas à des articles de sport.

41 05

MARK BÜNGER

EXPERT

LUX RESEARCH

Les grands domaines où l'on investit de façon importante pour les nanotechnologies sont : la santé et les sciences du vivant, l'électronique et les technologies de l'information, les matériaux, l'énergie et l'environnement, et l'instrumentation, comme les microscopes électroniques.

Dans le monde, on investit au total un peu moins de 14 milliards de dollars dans les nanotechnologies. 5% est issu du « capital risk », qui parie sur des technologies très en avance, et le reste est équitablement divisé entre investissement publique et privé.

L'Amérique du Nord, l'Asie et l'Europe investissent environ 4 milliards chacun dans les nanotechnologies.

La croissance de ces investissements est partout la même, c'est une croissance à deux chiffres, mais la part de l'Asie par exemple augmente très rapidement.

41 49

COM

Le mouvement est planétaire. La globalisation est immédiate. L'Europe entre dans la danse. Et comme dans des tas de domaine c'est la Chine, l'Inde et même la Russie qui connaissent les plus fortes croissances ces dernières années.

La Chine est aujourd'hui en troisième place en terme d'investissement public, quatrième pour les investissements privés et les centres dédiés aux nanotechnologies dans le pays. Les Etats-Unis et l'Europe risquent d'être bientôt dépassés.

On fait des nanos objets en Chine et des mille-feuilles géants à San Francisco. Mark me détaille dans une boulangerie française, les règles de ce jeu à dimension internationale

42 20

MARK BÜNGER

EXPERT

LUX RESEARCH

Je vais essayer ça, vous ne prenez rien ?

42 20

L'ENQUÊTEUR

C'est un millefeuille, c'est très bon...

MARK BÜNGER
EXPERT
LUX RESEARCH

On appelle ça un Napoléon

L'ENQUÊTEUR

Napoléon ?

42 33

MARK BÜNGER
EXPERT
LUX RESEARCH

Nous avons mené une étude, dans laquelle nous avons noté les pays selon deux facteurs. Premièrement, sur leur investissement dans la recherche fondamentale en nanotechnologie, et deuxièmement sur leur capacité à commercialiser leurs découvertes.

On a vu que de nombreux pays européens, comme la France par exemple, ont d'excellents résultats sur un plan académique, purement scientifique, mais ils ne sont pas aussi efficaces que l'Inde ou la Chine, par exemple, pour en faire des produits commerciaux.

43 04

L'ENQUÊTEUR

Et qu'en est-il des points forts ou des points faibles de chacun ?

43 14

MARK BÜNGER
EXPERT
LUX RESEARCH

En fait... Les nanotechnologies aujourd'hui sont en train de passer du stade de la recherche scientifique à celui des premières applications commerciales. Et les pays qui profitent le plus de l'essor des nanotechs sont ceux qui sont déjà à la pointe dans certains domaines. Par exemple, pour un pays qui a déjà une recherche médicale avancée, les nanotechnologies vont augmenter cette avance. Si un pays a une agriculture forte, idem, les nanotechs vont accroître son avantage.

43 36

COM

60 000 publications dans le monde entier sur les nanotechnologies. Des brevets qui se comptent par milliers, et ces chiffres augmentent chaque année, de près de 30%.

On parle de la France, l'occasion est trop belle pour ne pas la saisir. Un petit retour en Europe pour interroger Françoise Roure, une économiste spécialisée dans le domaine...

SYNTHE :

PARIS

43 57

FRANCOISE ROURE
ECONOMISTE

CONSEIL GENERAL DES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION

« La quantité de brevets, mais aussi La quantité de brevets, mais aussi, la quantité de publication qui se réfèrent à des concepts nanométriques explosent littéralement donc on est pas du tout dans un phénomène de mode, cette échelle nanométrique est vraiment l'échelle pertinente recherchée pour ses propriétés pour la mention. »

44 14

COM

Françoise Roure est aussi l'une des expertes consultée par la Commission européenne et elle représente la France dans le dialogue international en matière de nanotechnologies.

Et les nanotechnologies, ce ne sont pas seulement des avancées scientifiques, des avancées technologiques, c'est aussi devenu un facteur essentiel dans les politiques de développement de nombreux pays, dans les relations internationales.

Chaque pays veut en être et lance ses plans de recherche...

44 40

FRANCOISE ROURE

ECONOMISTE

CONSEIL GENERAL DES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION

« Les feuilles de route scientifiques et techniques émergent dans de très nombreux pays en même temps, et donc pour citer le Brésil, par exemple, qui est très intéresser par les applications agroalimentaires, la chine est très très intéressée par toutes les application relatives aux nanomatériaux , de même que le Japon. L'Afrique du Sud s'intéresse par exemple, du fait de son patrimoine minier important, aux applications dans le domaine de l'utilisation de l'or donc des nanoparticules d'or, ce qui fait que les initiatives en faveur des nanosciences et des nanotechnologies, les initiatives publiques, émergent pratiquement simultanément dans de nouveaux lieux.»

45 18

COM

Si les outils de recherche et de production coûtent chers, la théorie, elle, reste accessible à qui veut bien s'y intéresser. C'est le pari que font de nombreux pays émergents : arriver directement au même niveau de compétences que celui atteint après plusieurs années par la France, la Scandinavie, le Japon, ou les Etats-Unis.

Je décide de faire un tour en Afrique du sud. Chaque pays peut avoir des priorités différentes mais les nanotechnologies ont l'avantage de pouvoir répondre à toutes sortes de problématiques.

SYNTHE : **PRETORIA**

COM

J'y retrouve Thembela Hillie, il est l'un des responsables du département pour les matériaux nano-structurés au Centre national de la recherche sud-africaine.

Il m'explique que les enjeux sont trop importants pour rester à la traîne... Et les implications vont de l'économie à la politique, en passant par la société.

45 58

THEMBELA HILLIE

CSIR

En Afrique du Sud, on a besoin de valoriser au mieux nos ressources naturelles, comme pour les minerais par exemple. Plutôt que de simplement les exporter, on va pouvoir leur conférer une valeur ajoutée avant de les vendre.

Nous avons besoin de la science pour nous aider à résoudre certains problèmes de société, comme par exemple dans les domaines de la santé, de l'énergie ou pour la dépollution de l'eau... Et les nanotechnologies pourraient nous être utiles dans tous ces domaines.

46 33

L'ENQUÊTEUR

Lorsque vous parlez de priorités différentes, quelles sont-elles ?

46 38

THEMBELLA HILLIE

CSIR

Ecoutez, à mon sens la science n'a pas de territoire de prédilection, elle peut se développer n'importe où. Ceux qui enseignent la science par exemple peuvent très bien l'enseigner n'importe où dans le monde.

Mais il est important pour nous que les choses se passent en Afrique du Sud, et pas ailleurs, car ici, nous sommes plus proches des problèmes dont souffre notre société, donc mieux à même de les résoudre.

Et dans un pays en développement comme ici, nous pouvons mettre en place des industries spécialisées, très efficaces, et beaucoup moins coûteuses qu'ailleurs.

47 11

COM

Les Nanos laissent envisager des innovations technologiques, des retombés économiques, des nouvelles relations entre les pays, des bouleversements sociaux., et même une nouvelle manière de faire de la science au-delà des barrières disciplinaires traditionnelles...

47 24

JAMES HEATH

CHIMISTE

CALTECH

Vous voyez, dans une université comme ici, les choses s'organisent encore selon ce qu'on appelle un modèle germanique. Ça veut dire que les disciplines sont séparées, la chimie, la physique, la biologie... Et même à l'intérieur du département chimie, tout est cloisonné en spécialités différentes. Bref.

Ce type de structure a été mis en place pour résoudre les problèmes de mon père ou même plutôt de mon grand-père. Pas pour résoudre nos problèmes actuels, comme le manque d'énergie, ou les systèmes de santé.

Je pense que si on veut être vraiment efficace, la science moderne doit refuser cette organisation germanique, ce cloisonnement, et passer d'un domaine à l'autre pour résoudre les problèmes. Les nanotechnologies ont servi de catalyseur dans cette démarche, davantage que n'importe quel autre domaine.

48 08

JAMES M. TOUR
CHIMISTE
UNIVERSITE RICE

Les nanotechnologies nous offrent maintenant un langage commun et des connaissances qui nous permettent d'avancer ensemble, en apprenant les uns des autres. Grâce aux nanotechnologies, on peut tous travailler ensemble comme jamais auparavant et ça c'est un grand plaisir. Et parce qu'on avance tous de concert, on obtient des progrès scientifiques qui n'auraient pas eu lieu autrement.

48 26

MIHAIL C. ROCO
NATIONAL SCIENCE FOUNDATION

Les nanotechnologies offre l'occasion de révolutionner les méthodes de production, de révolutionner la médecine, de révolutionner notre compréhension du monde.

48 40

RENZO TOMELLINI
CHEF DE L'UNITE NANOTECHNOLOGIES 2003-2008
COMMISSION EUROPEENNE

« Nous sommes dans une situation où nous devons passer de plus en plus vers une économie basée sur la connaissance, mettre plus d'intelligence, utiliser notre cerveau comme matière première, alors de plus en plus nous mettons de connaissance dans la matière, le produit, le procédé. »

48 59

GERD BINNIG
PHYSICIEN
PRIX NOBEL DE PHYSIQUE 1986

Je crois que le but, l'objectif final des nanotechnologies, c'est de construire des objets complexes. Dans l'avenir, les machines ressembleront de plus en plus au vivant. Et ce sont entre autres les nanotechs qui vont nous permettre de parvenir à ça. C'est ça la direction, et un jour, nous serons peut-être incapable de savoir si on est face à une personne ou si on interagit avec une machine. Ce qui voudra dire dans ce cas-là qu'on fera face à une nouvelle forme de vie, même si elle est artificielle.

49 30

HAROLD KROTO
CHIMISTE
PRIX NOBEL DE CHIMIE 1996

La seule chose que je peux espérer, c'est que l'humanité évolue au même rythme que la science ; de cette façon, lorsque tous ces nouveaux appareils fantastiques seront disponibles, on n'en fera pas une mauvaise utilisation.

49 47

L'ENQUETEUR

Vous pensez qu'ils pourraient être mal utilisé ?

HAROLD KROTO

CHIMISTE

PRIX NOBEL DE CHIMIE 1996

Oh oui, bien sûr ! On sait bien que n'importe quelle technologie peut être utilisée à des fins néfastes. Ça arrive tous les jours.

50 01

COM

Pas étonnant donc que les nanosciences et les nanotechnologies, à peine nées, provoquent autant d'inquiétudes que d'attentes. Surtout dans un contexte où la connaissance doit prendre de plus en plus de place dans l'économie, pour parer aux problématiques d'énergie ou d'environnement.

Mon aventure au pays des nanos est donc loin de toucher à son terme. Quels sont les risques, les bénéfices, les règles à se donner ? Est-ce une évolution, une révolution ? Répondre à toutes ces questions sera l'occasion d'autres explorations à la découverte des premières applications qui arrivent sur le marché. Des matériaux, à l'alimentaire, de l'électronique au textile... Ou encore dans le domaine de la santé. Sans oublier les questions éthiques ou toxicologiques...

En route pour d'autres voyages...

TC OUT : 50'48'14

GENERIQUE DE FIN (DEROULANT SUR IMAGE)

UN FILM DE

CHARLES-ANTOINE DE ROUVRE

JEROME SCEMLA

PRODUIT PAR

LAURENT MINI

KARIM SAMAI

ECRIT PAR

CHARLES-ANTOINE DE ROUVRE

JEROME SCEMLA

ANNE FRANCE SION

MUSIQUE ORIGINALE

JOSEPH GUIGUI

DAVID DAHAN

COMMENTAIRE DIT PAR

CHARLES-ANTOINE DE ROUVRE

AVEC LES VOIX DE

STEPHANIE BELLE

STEPHANE KALB

JEAN CHRISTOPHE LEBERT

LAURENT LEGRAET
OLIVIER PEISSEL
BERNARD PETIT

MONTAGE
DELPHINE DUFRICHE

ASSISTEE DE
BENOITE DORLACQ

MONTAGE SON
CLAIRE JOUAN

DIRECTRICE DE PRODUCTION
BENEDICTE RICHARD

DIRECTION DE POST PRODUCTION
NOËL MORROW
SÉVERINE CAPPÀ

STAGIAIRES
CHANTAL RUFFIN
SOUADE SAMAI
RECHERCHES
LAURENCE PIVOT
BENJAMIN TURQUET

IMAGES
REMY REVELLIN
CHRISTOPHE LEMIRE
BORIS CARRETE
JEROME SCEMLA

SON
VINCENT MAGNIER
ODILE DARMOSTOUBE

MACHINERIE
YOHANN TROUBAT
GRÉGORY DAUBAS

SILHOUETTE – FEMME
LISA FACHAU

MAQUILLAGE
STEPHANIE FIORILE

REGISSEURS

LAURENT AIT BENALLA
WAI YIM WONG CHARMES
AYA ASAKURA, YOKO ISHITANI
FLORENCE ROUDAUT, LUCAS DELOFFRE
LYN MARKEY
VERONIQUE GARA

DOCUMENTATION

VALERIE COMBARD
VALERIE FRENE
XAVIER BRILLAT

TRANSCRIPTION & TRADUCTION

PAULETTE DOMINIQUE
FABIENNE BERLATIER

ETALONNAGE

THIERRY LERAY
PASCAL FAIVRE CHALON
PAUL- HENRY ROUGET

MIXAGE

SPARKLE STUDIO

HABILLAGE ET ANIMATIONS 2D

TCHACK

DIRECTION ARTISTIQUE 2D 3D

LUCIANO LEPINAY

STORY-BOARD 2D 3D

DANIEL KLEIN

ANIMATION & COMPOSITING

DENIS VAUTRIN
SANTINE MUNOZ
ARMEL FORTUN

PRODUCTION

MATTHIEU LIEGEOIS

STAGIAIRES

LOUISE CAILLEZ
VIRGINIE GUICHAOUA

ANIMATION 3D

CREATIVE CONSPIRACY

PRODUCTION

LUC VAN DRIESSCHE, KOEN VERMAANEN

ANIMATION

BART BOSSAERT, BRUNO HANSSENS,
TOM NEUTTIENS, WANNES AELVOET, JEREMIE LOUVAERT

COMPOSITING

GERRIT BEKERS, JEREMIE LOUVAERT

SFX

MITCHEL SMITH

STAGIAIRES

EVELYN BEKAERT, JEROEN BOURGOIS
PIETER DEPANDELAERE, XAVIER VANYSACKER

MUSIQUE ADDITIONNELLE

CHANSON « ESSAYE » INTERPRETEE PAR ALARASH
CHANSONS « NANOBOTS » & « EPILOGUE » PAR JAMES HEATH

ARCHIVES

ANGELS AGAINST NANOTECHNOLOGIES
APARCHIVE
ATELIER DES ARCHIVES
BBC
CALTECH ARCHIVES
CERIMÈS
CHICAGO T.H.O.N.G.
FRAMEPOOL
GAUMONT-PATHE ARCHIVES
GEDEON PROGRAMMES
IBM
INSERM
NEC
NICK PAPADAKIS
PAUL W.K. ROTHEMUND
PILKINGTON FRANCE
PROGRAM33
SONY
SVT
TRANSPARENCE PRODUCTION
WORLD TRANSHUMANIST ASSOCIATION

REMERCIEMENTS

LIRMM

PHILIPPE POIGNET / DAVID GUIRAUD / GUY CATHEBRAS / FABIEN SOULIER

MINATEC / CEA

LORENE FERRANDES / CLEMENT MOULET

FRANÇOIS TARDIF

CHEF DU LABORATOIRE DES TECHNOLOGIES DES TRACEURS

SEBASTIEN NOËL

PHYSICIEN DES SEMI-CONDUCTEURS

GUILLAUME SAVELLI

PHYSICIEN / THERMO-ELECTRIQUE

NICOLAS BARDI

INGENIEUR /CHEF DU LABORATOIRE PILES A COMBUSTIBLE

DENIS TREMBLAY, PAULINE LEGRAND, DIDIER LOUIS

PASCALE BAYLE-GUILLEMAUD, PIERRE-HENRI JOUNEAU, VIOLAINE SALVADOR
PLATEFORME DE NANOCARACTERISATION

FABRICE NAVARRO
CHERCHEUR EN BIOLOGIE

THOMAS DELMAS
PHYSICO-CHIMISTE

ELODIE SOLLIER
INGENIEUR DOCTORANTE EN MICROFLUIDIQUE POUR LA SANTE

JEAN-CHRISTOPHE P.GABRIEL
RESPONSABLE PROGRAMME BEYOND CMOS

F.BERGER
MEDECIN CHERCHEUR

CHRISTINE PEPPONNET
CHEF DE SERVICE BIOSYSTEM ON CHIP

RAPHAEL SALOT
PHYSICIEN DES MATERIAUX / CEA/LITEN

JEAN-YVES LAURENT
ELECTROCHIMISTE / CEA/LITEN

UNIVERSITE DE HARVARD
QUAN QING

UNIVERSITE DE CORNELL
MARGARET FREY / GEORGE G. MALLIARAS / MICHAEL SKVARLA

M.I.T.
VICKY DIADUCK / LUIS FERNANDO VELASQUEZ-GARCIA
MARC A. BALDO / JESUS A. DEL ALAMO / KARL K. BERGGREN

IBM WATSON RESEARCH CENTER
JOERG APPENZELLER

CALTEC
MARK DAVIES / ERIK WINFREE / PAUL ROTHMUND

UCSB
WALTER KOHN

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE HONG KONG
ANNE HON

NATIONAL SCIENCE FOUNDATION
JOSHUA A. CHAMOT

FORESIGHT
CHRISTINE PETERSON

NBCI
MASAO WATARI

EQUIPE NANOMEDECINE DE L'UNIVERSITE DU TEXAS
ENNIO TASCOTTI / ALESSANDRO GRATTONI / RITA SERDA / ROHAN BHAVANE /
ALI BOUAMRANI / SILVIA FERRATI / BING XIA / JIANHUA GU / ROBERT CAHILL

CENTRE ETH ZURICH
VAHID SANDOGHDAR / PHILIPPE KUKURA

IRENE CAMPOS / DEUTSTCHES MUSEUM MUNICH
EVA TIETZ
LADY MARGARET KROTO
CHRISTOPHER RADIC
GUY FORESTIER
GUNTER OBERDORSTER
DANIELA DINI
SANTA CROCE / PALAZZO PITTI
PHILIPPE LEMOINE
MINOO DASTOOR

ROLAND HERINO
DANIEL OCHOA
ILARION PAVEL
ISABELLE MURMURE
JEAN-ERIC WEGROVE
MARJORIE THOMAS
PAOLA, KIM, CHIARA, ILARIA, FEDERICA AND GIACOMO FERRARI
MASAYO ENDO / SONY CORP.
KONARKA
COMPUTER HISTORY MUSEUM
LE TELEPHERIQUE DE LA BASTILLE A GRENOBLE
RESTAURANT LE PER'GRAS
ATOMIUM DE BRUXELLES
STEPHANIE GIRAUD / URBASOLAR
ARKEMA
SAGEM DEFENSE SECURITE

UNE PRODUCTION
LA COMPAGNIE DES TAXI BROUSSE
LAURENT MINI
KARIM SAMAI

EN COPRODUCTION AVEC
EUROVISION SCIENCE
PHILIPPE JACOT
LAURA LONGOBARDI
KAREN SIMHA

DANS LE CADRE DU PROJET
SCIENCE IN EUROPE 2020

COPRODUIT AVEC LA PARTICIPATION FINANCIERE DE LA COMMISSION
EUROPEENNE, DIRECTION GENERALE DE LA RECHERCHE



EUROPEAN COMMISSION
European Research Area

AVEC LA PARTICIPATION
D'EUROPE IMAGES INTERNATIONAL

AVEC LE SOUTIEN DE
LA REGION LANGUEDOC-ROUSSILLON
DU CENTRE NATIONAL DE LA CINEMATOGRAPHIE
DE L'ANGOA ET DE LA PROCIREP

SOCIETE DES PRODUCTEURS

PRODUIT AVEC LA COLLABORATION DE
LA RTBF –TELEVISION BELGE –CLAIRE COLLART
UR- NINNIE KÜLLER
TFO, LA CHAÎNE ÉDUCATIVE ET CULTURELLE DE LANGUE FRANÇAISE DE
L'ONTARIO

AVEC LA PARTICIPATION DE
FRANCE TELEVISIONS

POLE FRANCE 5

POLE DOCUMENTAIRES
PIERRE BLOCK DE FRIBERG
CARLOS PINSKY
HERVE GUERIN

PHILIPPE LE MORE
VALERIE VERDIER FERRE

PRESSE FRANCE 5
ANNE-SOPHIE BRUTTMANN

© 2009 LA COMPAGNIE DES TAXI BROUSSE