

Les aventures  
**d'ANSELME  
LANTURLU**



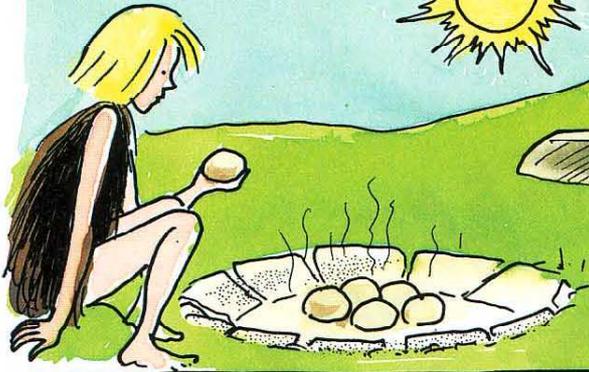
# ÉNERGÉTIQUEMENT VÔTRE

par Jean-Pierre Petit



# PROLOGUE

Il était une fois un monde où les hommes ne connaissaient pas le feu. Ils cuisaient leurs aliments en les exposant au soleil.



Ce serait bien si on pouvait trouver autre chose...



Quand la nuit venait, ils rentraient dans leurs grottes de lourdes pierres, qui avaient emmagasiné la chaleur du Soleil.

..tuant...

Tu dors ?

Non, les pierres sont déjà froides...

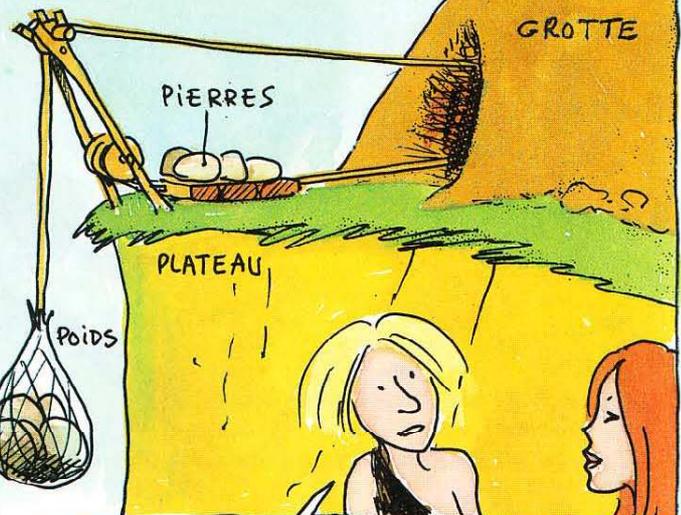


on gèle...

Quand l'hiver sera là, ça sera pire. La moitié de la tribu est déjà enrhumée.

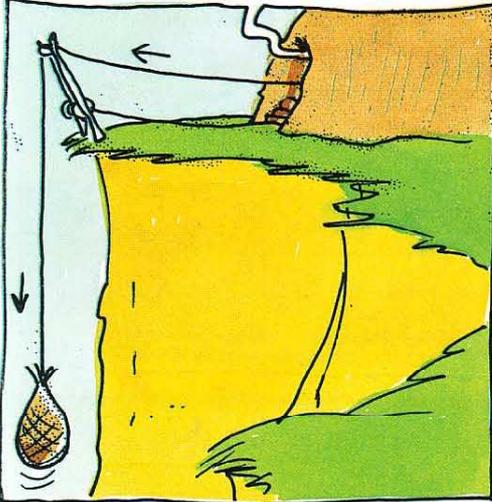
qu'est-ce que tu fais ?

Je cherche un moyen de **STOCKER L'ÉNERGIE**

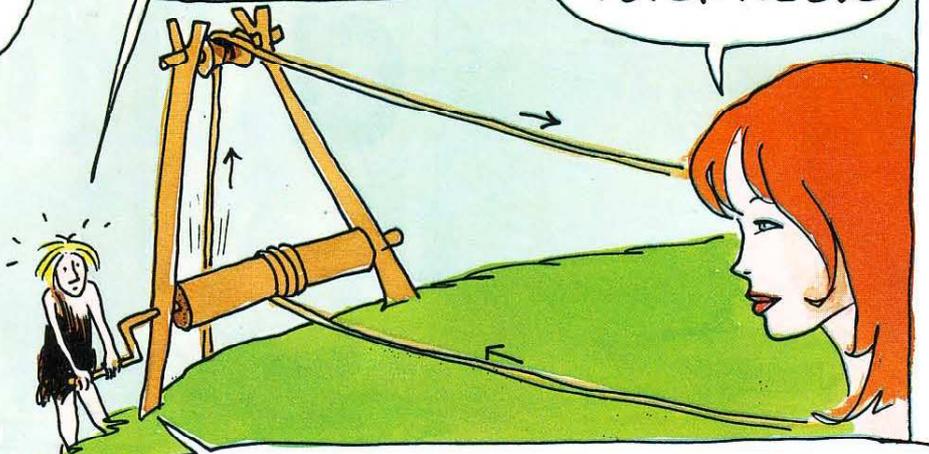


C'est vraiment fatigant de rentrer en vitesse ces pierres, chaque soir

Alors j'ai conçu un système qui tire ce plateau chargé de pierres chaudes, à l'intérieur de la grotte, chaque soir



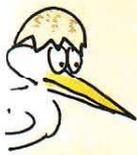
Et, dans la journée, je remonte ma charge



tu stockes de l'ÉNERGIE POTENTIELLE

C'est commode. Mais pourquoi faut-il que cela soit toujours nous qui fournissons le TRAVAIL?

Qu'est-ce que tu fais maintenant, Anselme?



Je perfectionne ma méthode de STOCKAGE DE L'ÉNERGIE

Voilà!



Tu veux dire que tu as stocké de l'énergie à l'INTÉRIEUR de cette boîte?



Le système que j'ai inventé représente un stockage d'ÉNERGIE INTERNE



une énergie que je peux TRANSPORTER et RÉUTILISER à volonté

AAAAHHH



CLAP!

Sophie ! c'était simplement un STOCKAGE D'ÉNERGIE INTERNE !



# L'ÉNERGIE CHIMIQUE

Je vais faire un peu le ménage dans la grotte. Voyons, du salpêtre, du soufre...

Et ces charbons de bois, restes de l'incendie de forêt provoqué par le Dieu Tonnerre.



Ça doit être net, sinon Sophie va me tuer !



...encore cette grosse pierre



Sophie ! j'ai trouvé ! Il y a de l'**ÉNERGIE** dans cette **POUDRE NOIRE** que je viens d'inventer



on va pouvoir l'utiliser pour cuire les aliments et pour se chauffer !



tu vas voir...

Si tu veux mon avis, c'est une bonne invention, mais ça n'est pas très commode à utiliser



Dois-je renoncer ?



Et si on mélangeait cette poudre à du sable ?

Ça marche !!! le sable calme ce mélange, qui libère son énergie plus doucement !

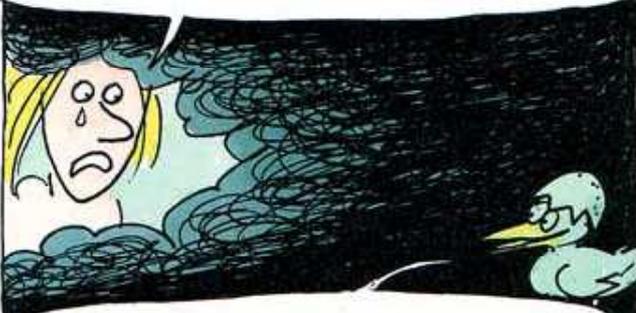


le dégagement de chaleur peut être contrôlé

Nous ne serons plus transis de froid cet hiver...



ça donne beaucoup de chaleur,  
mais on a du mal à respirer



on peut en crever, tu veux dire!

Elle se condense en  
poussière, dont je peux  
me débarrasser.



Voilà. En stockant la fumée  
dans cette outre, ça va mieux.

c'est bien. Mais c'est quand même  
pas super commode ...



Pas moyen de jeter  
tout cela n'importe où.  
Sinon je vais empoisonner  
l'eau du lac

# L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

Tiens, c'est drôle. L'eau  
de cette source est bouillante



d'où vient  
l'énergie?

y aurait-il des  
diables sous la  
surface de la Terre?



...des boîtes, avec des diables dedans!?

Une légende dit que, jadis, de l'**ÉNERGIE** fut enfermée dans les **NOYAUX** de certains **ATOMES** comme l'**URANIUM**. Ces atomes ont été fabriqués dans les soleils, dans leurs fournaies infernales, puis éjectés et emprisonnés dans la masse de la Terre lors de sa formation.

Mais ces atomes ne sont pas des boîtes solides. Et, de temps en temps, un couvercle lâche.

La légende dit qu'à la **FIN DES TEMPS**, tous les diables seront sortis des boîtes et que l'Univers n'aura plus d'énergie de cette sorte.

Et les diables **ÉNERGIE** sont libérés

Et il se dégonflera comme une vessie de porc

Mais cela durera longtemps, très longtemps...

Et, combien de temps les diables restent-ils dans les boîtes? combien de temps ces **NOYAUX** gardent-ils cette **ÉNERGIE** qu'ils possèdent?

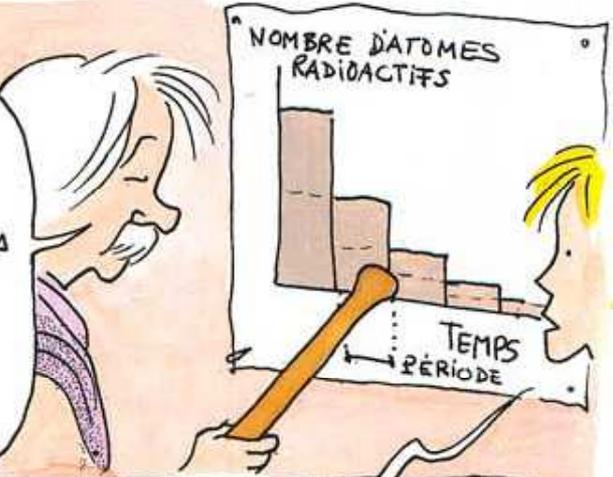
Ah, quand même

Et il faut remercier les dieux d'avoir été prévoyants, de nous avoir mis tant d'énergie de côté.

Mon fils, cela dépend des boîtes, cela dépend des noyaux d'atomes.

# PÉRIODE D'UN ÉLÉMENT RADIOACTIF

Si on considère un ensemble de boîtes contenant des diables, au bout d'un temps **T** appelé **DEMI-VIE** ou **PÉRIODE**, la **MOITIÉ** des boîtes auront libéré leur diable. Dans un laps de temps identique, la moitié des boîtes qui restent s'ouvriront à leur tour. Et ainsi de suite. Cette demi-vie peut être très variable : des milliards d'années ou des fractions de seconde.



Et, s'il n'y avait pas toutes ces boîtes avec leur diable, tous ces noyaux chargés d'énergie, dans le cœur de la Terre, nous aurions beaucoup plus froid l'hiver.

Le serait bien si je pouvais trouver tous ces atomes chargés d'énergie



Il me suffirait d'en réunir suffisamment dans une bouteille pour me chauffer tout l'hiver!

Attention, Anselme, les ressorts de l'**ÉNERGIE NUCLEAIRE** sont infiniment plus puissants que ceux de l'**ÉNERGIE CHIMIQUE**. Des **CENTAINES DE MILLIERS DE FOIS PLUS PUISSANTS**.



FLOP!

NOYAU



les diables émis par les noyaux radioactifs jaillissent ainsi avec une grande violence

Voyons un peu si ce que me dit monsieur Albert est vrai. Les fermetures de ces boîtes glissent progressivement. Ainsi elles s'ouvrent une à une.



Je mets ces boîtes les unes à côté des autres

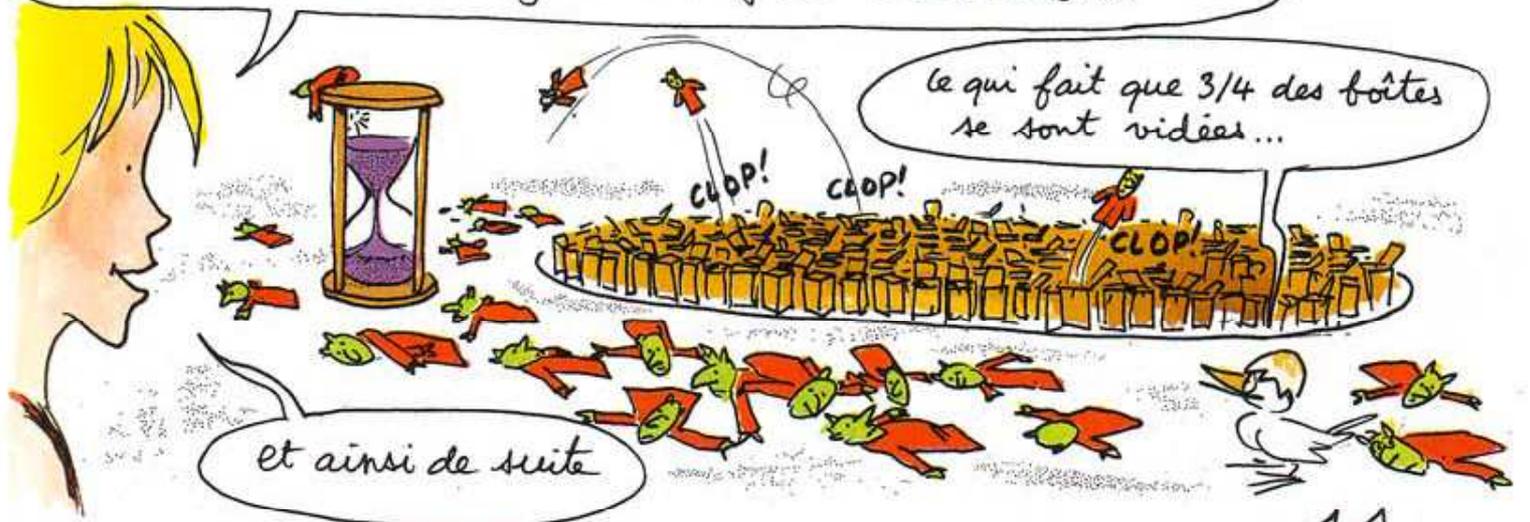
Bon, au bout du temps de demi-vie, la moitié des boîtes se sont vidées



Monsieur Albert avait raison

He!!

Au bout d'un second laps de temps, identique, la moitié des boîtes restantes ont également éjecté leur diable.



et ainsi de suite

ce qui fait que  $\frac{3}{4}$  des boîtes se sont vidées...

Bref, ça se ralentit avec le temps. Le rythme d'ouverture des boîtes a tendance à diminuer

la Terre devait être beaucoup plus radioactive au début

et puis ça s'est calmé

# CONVERSION DE L'ÉNERGIE

Mais, où se trouve la CHALEUR dans tout cela ?

Et si on mettait cela dans une marmite ?

Essayons...

Ça marche ! L'ÉNERGIE émise par ces ATOMES RADIOACTIFS est absorbée par l'eau et CONVERTIE EN CHALEUR.

Mais cette RADIOACTIVITÉ NATURELLE ne dégage pas beaucoup d'ÉNERGIE

Bref, il faut une grande quantité de matière radioactive pour pouvoir se chauffer

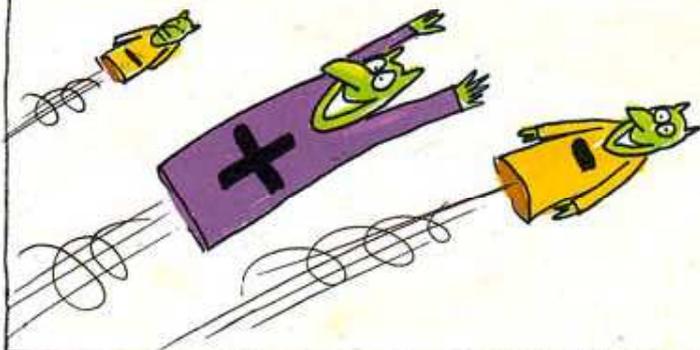
# LES DIFFÉRENTES ESPÈCES DE DIABLES

Concrètement, il n'y a pas qu'une espèce de diables. La première chose que les noyaux peuvent émettre, c'est du **RAYONNEMENT X** ou  $\gamma$ . Une sorte de lumière invisible.

chaud devant !!

On peut les absorber par exemple avec une barrière de plomb suffisamment épaisse et leur énergie est alors convertie en chaleur

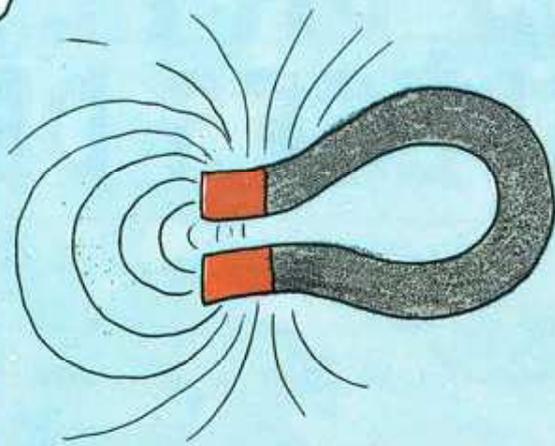
D'autres types de diables sont ceux qui possèdent une **CHARGE ÉLECTRIQUE**.



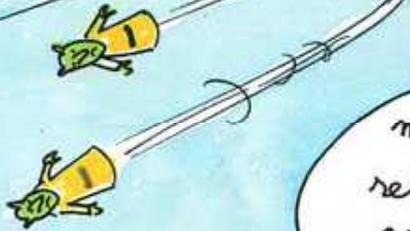
et ils vont vite?

Cela dépend de leur **ÉNERGIE**. Mais leur vitesse peut atteindre des dizaines de milliers de kilomètres par seconde

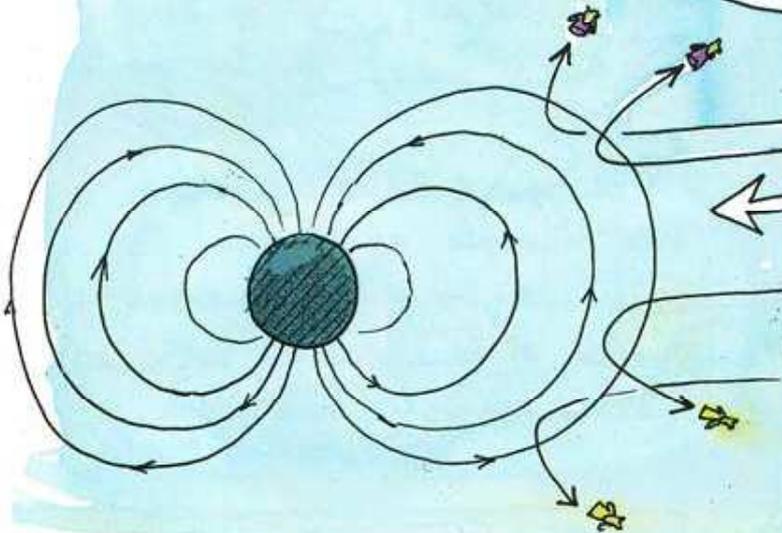
A cette allure, elles doivent passer au travers de n'importe quoi...



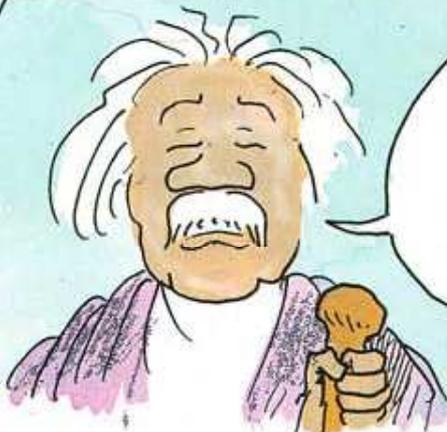
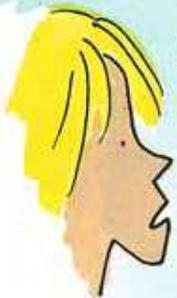
non, figure-toi qu'elles rebondissent sur un **CHAMP MAGNÉTIQUE**



De même, les particules chargées émises par le Soleil (Vent solaire) se réfléchissent sur le champ terrestre (\*)



La Terre est donc **PROTÉGÉE** par son champ magnétique



Eh oui. Si la Terre ne possédait pas cette barrière magnétique naturelle, les particules chargées émises par le Soleil créeraient de sérieux dégâts dans les tissus vivants

La troisième espèce de diables est la plus mauvaise : **LES NEUTRONS**. Eux aussi déboulent à des vitesses pouvant atteindre 20 000 km/s. Comme ils ne portent pas de **CHARGE ÉLECTRIQUE**, ils ne peuvent être arrêtés par une barrière magnétique.



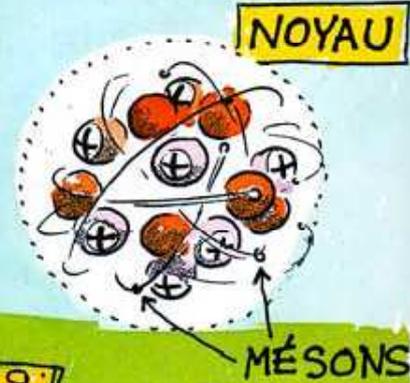
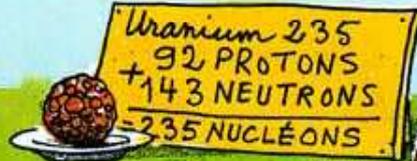
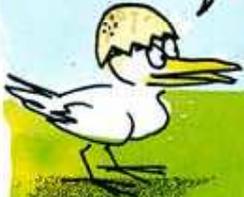
Tous ces diables peuvent faire des dégâts irréversibles dans les tissus vivants. Il faut s'en protéger !

Les neutrons et les particules chargées électriquement ont une masse et elles véhiculent une énergie cinétique  $\frac{1}{2} m V^2$  qui peut être absorbée par un solide, un liquide, ou un gaz, et convertie en chaleur. Mais j'aimerais bien en savoir plus sur ces noyaux.



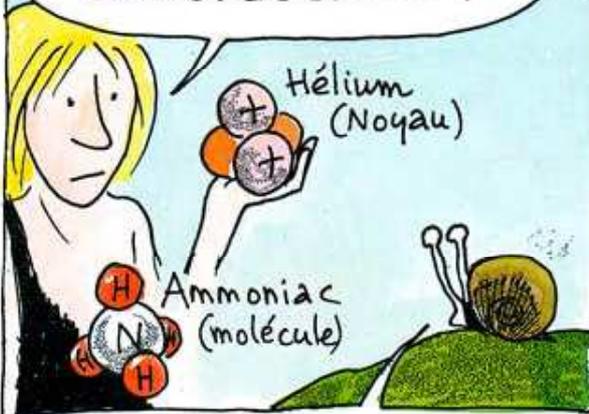
# STABILITÉ DES NOYAUX

Pour fabriquer des **NOYAUX**, il faut des **NEUTRONS**, des **PROTONS** et des particules appelées **MÉSONS**

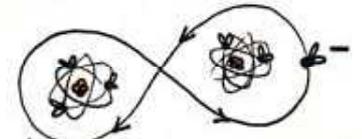
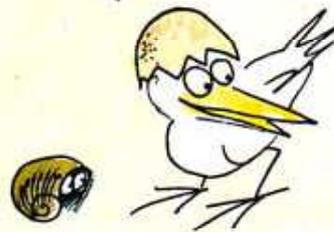


Les **MÉSONS** dans les **NOYAUX**, jouent un peu le rôle que jouent les **ÉLECTRONS** dans les **MOLECULES**: ils assurent la **COHÉSION**.

Alors, les **NOYAUX** sont des **MOLECULES** ?

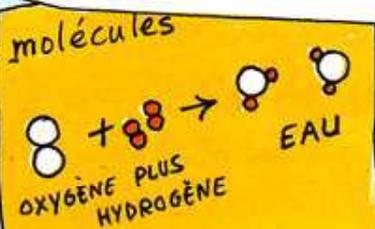


Les **NOYAUX** sont des assemblages de **NUCLÉONS**. Les **MOLECULES** sont des assemblages de **NOYAUX**. Et, nous-mêmes, sommes des assemblages de molécules.



Électron assurant  
**UNE LIAISON MOLECULAIRE**

la **CHIMIE** traduit des réarrangements de **MOLECULES**



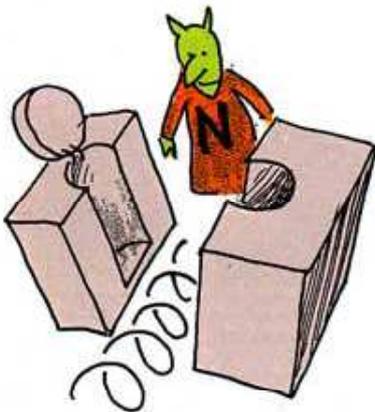
la **PHYSIQUE NUCLEAIRE** étudiera des **RÉARRANGEMENTS** de **NOYAUX**

Un noyau considéré comme **INSTABLE** est un noyau à durée de vie brève

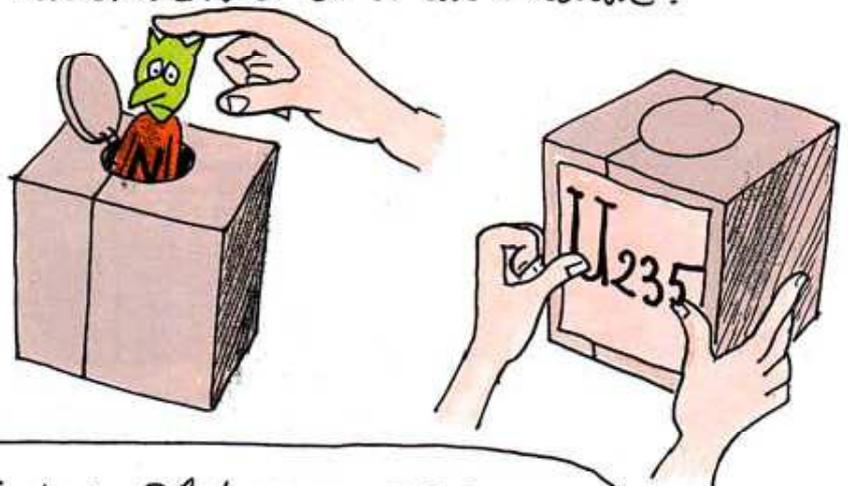
Mais des neutrons, agissant sur certains noyaux (eux-mêmes relativement stables, puisque dotés de durées de vie longues) peuvent les déstabiliser complètement et provoquer leur éclatement, leur **FISSION**

C'est le cas pour l'**URANIUM 235** et le **PLUTONIUM 239**

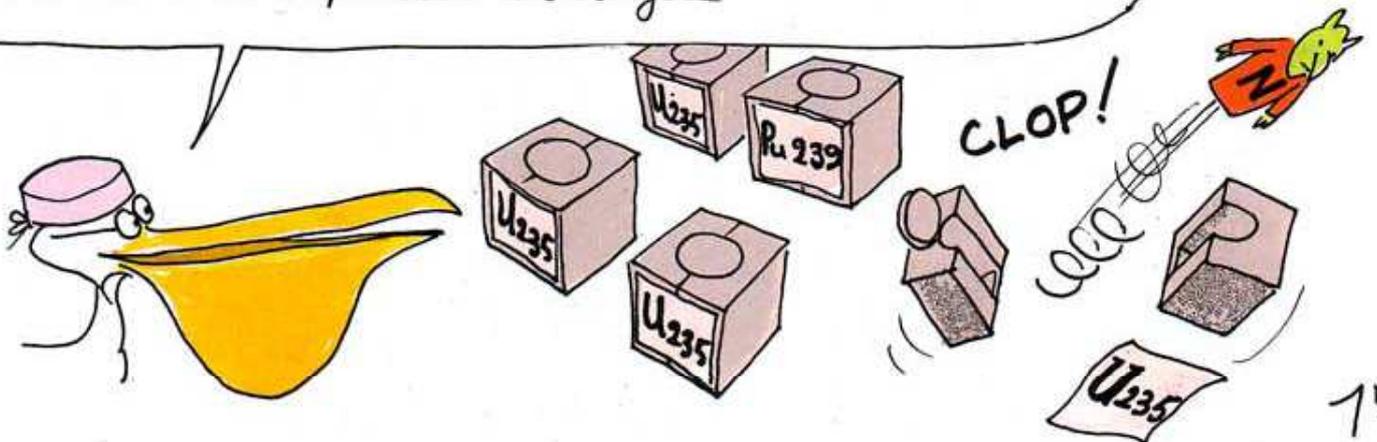
# LA FISSION



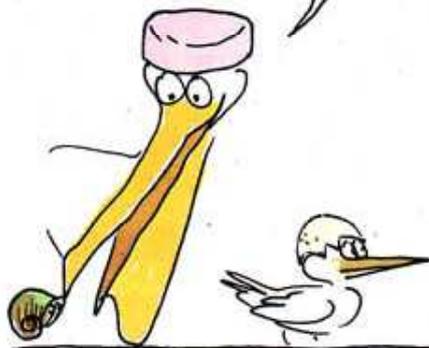
Ces noyaux peuvent être représentés comme un assemblage de deux blocs de masses dissemblables et d'un neutron.



les noyaux d'Uranium 235 et de Plutonium 239 présentent un certain type de radioactivité naturelle, associée à une période très longue



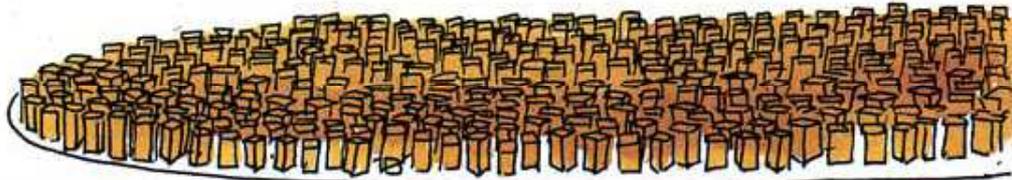
Voici une réaction de **FISSION**. La rencontre avec un neutron a déstabilisé ce noyau de Plutonium, qui éclate. Le résultat de cette réaction se traduit par la réémission de **2** neutrons(\*)



je vais étudier cela de près

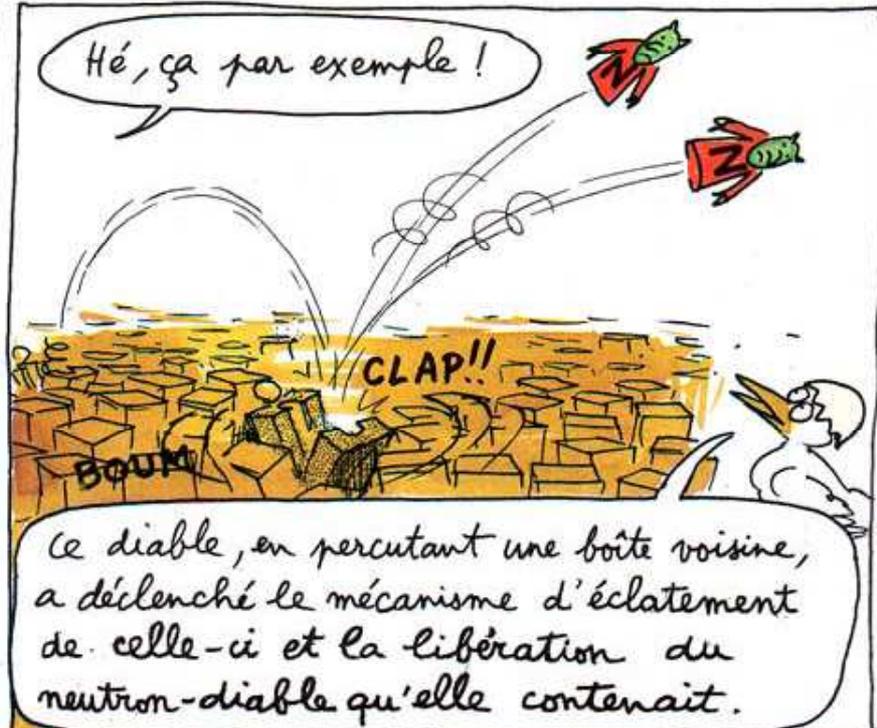
Anselme a réuni une grande quantité de boîtes à diables à l'intérieur d'un cercle de rayon R

Uranium 235 ou Plutonium 239



Et voilà les diables **ÉNERGIE** qui sortent de leurs boîtes

Hé, ça par exemple !



Il s'agit ici de **NEUTRONS**

Ce diable, en percutant une boîte voisine, a déclenché le mécanisme d'éclatement de celle-ci et la libération du neutron-diable qu'elle contenait.

18 (\*) Cette image est schématique. En fait le neutron incident est d'abord absorbé par le noyau fissile (l' $U_{235}$  devient  $U_{236}$  et le  $Pu_{239}$  devient  $Pu_{240}$ . Ce sont ces nouveaux objets, très instables, qui se brisent presque immédiatement.

# RÉACTIONS EN CHAÎNE



Ces deux diables déclenchent à leur tour l'ouverture de deux autres boîtes!



qui, à leur tour ...



Sophie, fichons le camp d'ici ...



Ben, dis donc!

Si les boîtes avaient été de vrais atomes, toute l'ÉNERGIE aurait été libérée dans cette RÉACTION EN CHAÎNE en une fraction de seconde



# LES CONDITIONS CRITIQUES

Comment faire pour éviter une telle catastrophe?

C'est simple : quand un diable est éjecté, il part dans une direction aléatoire et franchit une certaine distance. Si l'aire de répartition des boîtes est trop faible, ce diable ne déclenchera pas l'ouverture d'une autre boîte.



Mais il faut que la concentration(\*) des boîtes dépasse une certaine valeur critique.

Au-delà, la **RÉACTION EN CHAÎNE** démarre

(\*) on parle plus couramment de **MASSE CRITIQUE**

En fait, entre le taux d'émission faible de la **RADIOACTIVITÉ NATURELLE** et la **RÉACTION EN CHAÎNE**, on peut trouver un moyen terme. En jouant sur cette **CONCENTRATION**, bien que ce réglage soit assez pointu, on peut fixer le nombre de diables qui sont émis par seconde, c'est-à-dire le flux d'énergie dégagée



# LE RÉACTEUR NUCLÉAIRE

N'y aurait-il pas un moyen de mieux contrôler ce processus ?

On pourrait introduire quelque chose qui absorbe les diables, l'énergie



on dirait du papier tue-mouche



En descendant les papiers collants, j'absorbe les diables, ce qui me permet de limiter à volonté l'activité du réacteur

Et en descendant un peu plus tes bandes adhésives tu arrives même à stopper pratiquement ton réacteur

Tous les diables sont capturés au fur et à mesure. Il n'y a pratiquement plus de réactions en chaîne

Il reste l'émission d'énergie "normale", naturelle de ce corps radioactif, qui est considérablement plus faible

Bon. Pour faire un **RÉACTEUR NUCLÉAIRE**, il suffit de rassembler suffisamment de ces noyaux lourds, **URANIUM 235** ou **PLUTONIUM 239** Et on contrôlera l'activité du réacteur avec un corps absorbant les diables, qui sont ici les neutrons de **FISSION**.

Concrètement, les minerais d'Uranium contiennent 0,7% d'Uranium 235 (**FISSILE**). Le reste, c'est de l'Uranium 238, qui ne l'est pas

Et on utilisera du **CADMIUM** pour absorber les **NEUTRONS**

Il paraît que le Plutonium 239 n'existe pas dans la nature. Alors comment peut-on envisager de l'utiliser dans un réacteur ?

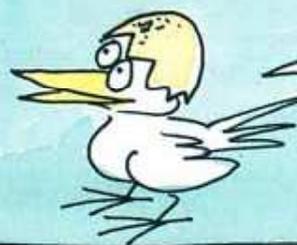
Euh... oui, tu as raison...

# MATÉRIAU FERTILE

L'Uranium 238 peut être, lui aussi, considéré comme un assemblage de deux éléments. Il reste une place pour un neutron



Autrement dit, quand un réacteur à Uranium fonctionne, il contient un mélange de matériau **FISSILE** et de matériau **FERTILE**. Il se fabrique donc, à partir du matériau **FERTILE**, une certaine quantité de matière **FISSILE**



Une certaine quantité ça veut dire quoi?

Tout dépend de la manière dont on fait fonctionner le réacteur. Au départ les **NEUTRONS DE FISSION** sont émis, dans tous les sens, à 20 000 kilomètres par seconde



CLAP!

IAHRPP!

23

# RÉACTEURS À NEUTRONS RAPIDES

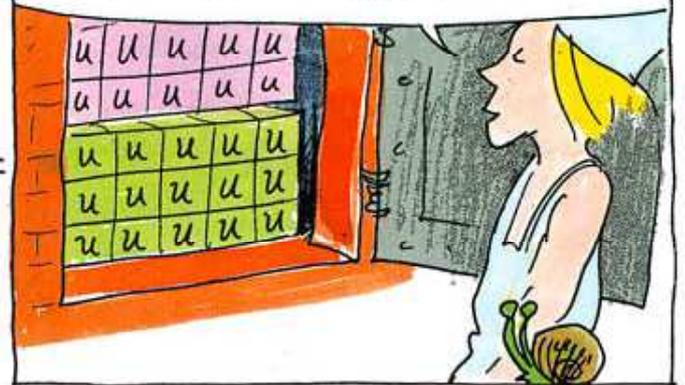
Ces **NEUTRONS RAPIDES** interagissent bien avec l' $U_{238}$ , fertile, en créant du  $Pu_{239}$ , fissile, à un bon rythme.

qu'est-ce que tu fais?



je charge mon réacteur avec un minerai riche en Uranium 235 (Uranium enrichi)

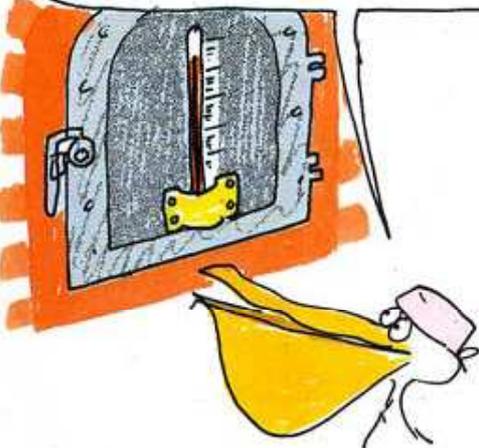
Puis je dispose une **COUVERTURE FERTILE** d' $U_{238}$



les **NEUTRONS RAPIDES** évoluent à 20 000 km/s dans le **CŒUR** du **RÉACTEUR**. Si on les assimilait aux molécules d'un gaz, celui-ci serait à 16 milliards de degrés

**TROIS ANS PLUS TARD**

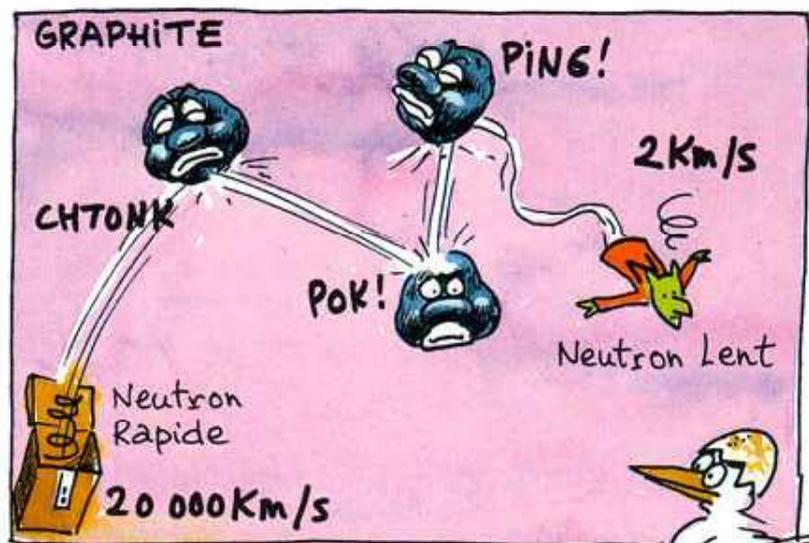
Oh! Anselme a fabriqué **PLUS** de  $Pu_{239}$  fissile qu'il n'a consommé d' $U_{235}$  c'est un **SURGÉNÉRATEUR**



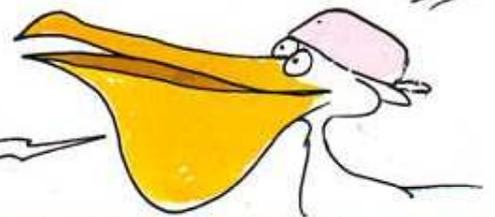
c'est normal, puisque chaque fission remet en jeu **DEUX** neutrons rapides, qui permettent de transformer 2  $U_{238}$  en  $Pu_{239}$

# RÉACTEURS À NEUTRONS LENTS

Avec le **CADMIUM** je peux absorber les neutrons et ainsi régler le niveau d'activité du réacteur (ou l'arrêter carrément). Mais avec du **GRAPHITE** ou de l'**EAU LOURDE** je peux **RALENTIR** les neutrons sans les absorber. Ce sont des **MODÉRATEURS**.



On peut ainsi descendre la **VITESSE D'AGITATION THERMIQUE** des neutrons à **2 Km/s**. Ce gaz de neutrons, froid, est à la température générale du réacteur



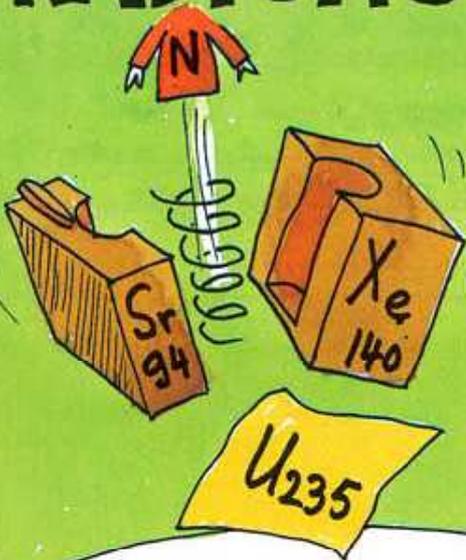
Il se fabrique toujours un peu de Pu 239, mais beaucoup moins que dans un réacteur à neutrons rapides

Il n'y a pas de frontière nette entre ces deux types de réacteurs. Il existe aussi bien des réacteurs à neutrons "tièdes", à mi-chemin entre l'un et l'autre



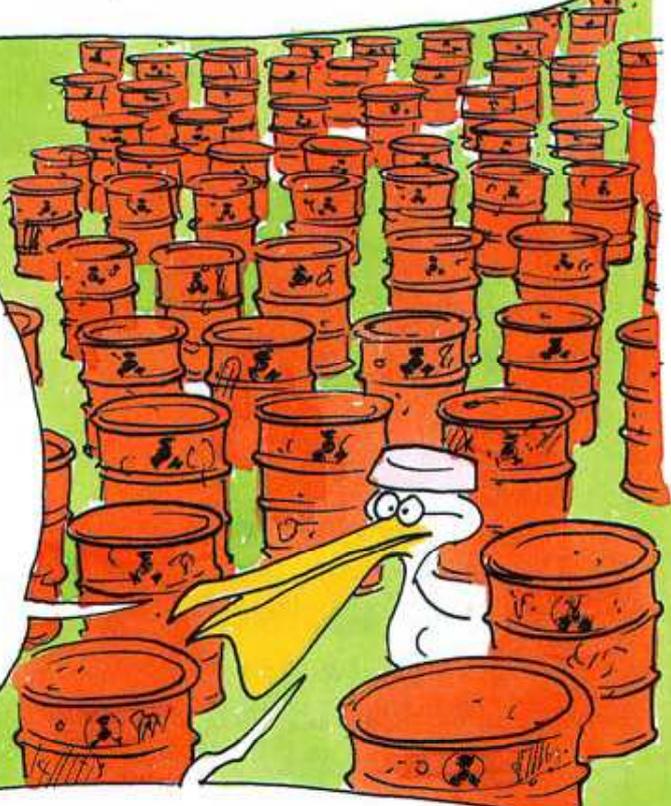
# DÉCHETS RADIOACTIFS

## RADIOACTIVITÉ INDUITE



Les noyaux d' $U_{235}$  et de  $Pu_{239}$  peuvent se scinder en deux morceaux d'un grand nombre de façons différentes. Ici un exemple où de l'Uranium 235 se scinde en Strontium 94 et en Xénon 140 radioactifs. Noter que  $94 + 140 + 1 = 235$

Tout cela est très embêtant. Beaucoup de ces **PRODUITS DE FISSION** ont la vie dure et resteront radioactifs pendant longtemps. Le **STRONTIUM** se fixe dans les os et l'**IODE** dans la thyroïde. Le Plutonium aussi est très dangereux. Tout cela provoque des **CANCERS** et des **LEUCÉMIES**.



Les neutrons de fission peuvent aussi être absorbés par des atomes paisibles, constituant la structure du réacteur, en les transformant en de dangereux instables, radioactifs eux aussi, qui iront grossir la masse des déchets.

# RADIOÉLÉMENTS SUR MESURE



Un réacteur produit donc des déchets instables, radioactifs de périodes variées

Non. Ce sont des noyaux susceptibles de perdre de la masse en émettant des noyaux d'hélium, des électrons ou des anti-électrons (\*)

Tu veux dire que ce sont des noyaux susceptibles de se scinder à leur tour ?

Tiens, voilà Anselme qui emporte les déchets

CLAP!

On peut fabriquer des radioéléments ayant des périodes variées, des noyaux radioactifs "sur mesure", en plaçant certains éléments dans le réacteur et en les soumettant au bombardement des diables. On obtiendra ainsi une radioactivité qualifiée d'ARTIFICIELLE.

I am a poor lonesome scientist

Ga 68. PÉRIODE : 1 HEURE

(\*) Radioactivités "alpha" ou "bêta"

Les **RADIOÉLÉMENTS ARTIFICIELS** ont été découverts dans les années 1930 par **FRÉDÉRIC ET IRÈNE JOLIOT-CURIE**, ce qui a conduit, quelques années plus tard à la découverte de la **FISSION**

Oh, regardez! Amselme a disparu, mais on arrive à le **LOCALISER** à cause des diables qui sont émis par son chargement.



CLAP!

J'ai une idée! En détectant cette émission de particules, en utilisant cette **RADIOACTIVITÉ ARTIFICIELLE**, on va pouvoir suivre des noyaux **A' LA TRACE**.

On peut même fixer des noyaux, des isotopes radioactifs, sur des molécules biologiques (**MARQUAGE**). Ce qui va permettre de suivre leur migration dans les tissus.

Hé, il y a un dangereux instable parmi nous

CLAP!

Il existe une multitude d'applications pacifiques de la radioactivité artificielle. On peut par exemple étudier la migration des engrais dans les sols, en incluant dans les phosphates un isotope radioactif du phosphore

CLOP!

EN PHOS

# LES BOMBES A



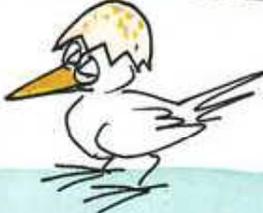
La Physique Nucléaire a permis à la Science des Feux d'Artifice de progresser considérablement. En réunissant brutalement deux masses de matériau fissile ( $U_{235}$  ou  $Pu_{239}$ ) à l'aide d'un explosif, on crée les conditions critiques et on provoque une intense réaction en chaîne, et des effets au caractère esthétique indéniable.



voyons. En réunissant ces deux masses, j'obtiens la **MASSE CRITIQUE**.



Un grand nombre de diables de toutes espèces sont émis et les déchets radioactifs sont entraînés dans la haute atmosphère par l'ascendance due à l'intense dégagement de chaleur. Ce qui permet d'en faire profiter les voisins.

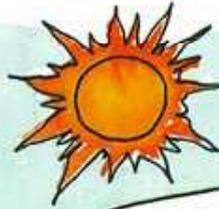


Si vous voulez entrer dans le club des **JOYEUX ARTIFICIERS**, il vous faudra disposer d'un matériau fissile pur (100% d' $U_{235}$  ou de  $Pu_{239}$ ) Vous avez deux solutions : ou raffiner de l'uranium naturel, ou vous adresser au réacteur le plus proche de votre domicile, en recueillant le  $Pu_{239}$  produit après chaque cycle de fonctionnement.



ça vient, ça vient !..

# LA FUSION



Dis donc, le soleil, c'est une planète qui doit contenir beaucoup d'Uranium, c'est pour cela qu'il est si chaud ?

Non, Anselme, ça n'est pas cela. Dans les **RÉACTIONS CHIMIQUES**, on part d'un mélange de substances, par exemple de l'**HYDROGÈNE** et de l'**OXYGÈNE**.

Mais... il ne se passe... rien ?!

c'est parce que la température n'est pas assez élevée

chauffons ce mélange

**PAF!**

Et ça donne ?

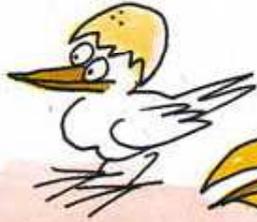
$H_2O$ , de l'eau

Alors, il ya des réactions qui dégagent beaucoup d'énergie sans produire de substance toxique

Si un jour on utilise des avions volant avec un mélange hydrogène-oxygène (stockés à l'état liquide) ils ne laisseront sur leur passage que des... nuages !

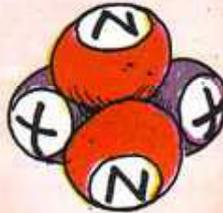
On peut peut-être aussi faire "brûler" des mélanges de noyaux

à condition de les porter à assez forte température



DEUTÉRIUM TRITIUM

HÉLIUM



On peut faire réagir du **DEUTÉRIUM** et du **TRITIUM**, qui sont deux espèces d'**HYDROGÈNE LOURD** (le noyau de l'hydrogène léger est constitué d'un seul proton **P**). Les noyaux de ces **ISOTOPES** ne diffèrent que par leur nombre de neutrons. Le mélange Deutérium - Tritium tend à donner de l'Helium

**GRAND BAL DIABOLIQUE**

Voici un élément de gaz d'**HYDROGÈNE LOURD**, moitié **DEUTÉRIUM**, moitié **TRITIUM**. A la température ordinaire, les **ÉLECTRONS** tournent autour des noyaux et assurent des liaisons moléculaires (en liant les noyaux deux par deux.)



Molécule de Deutérium

Molécule de Tritium

Puis le rythme du bal devient réellement endiablé. Les molécules se brisent (dissociation) et les abeilles-électrons orbitent autour d'un seul noyau

**VERS TROIS MILLE DEGRÉS :**

Pas moyen d'orbiter autour de ces noyaux, ils bougent sans cesse

oui, ça devient infernal. Moi j'abandonne...

le gaz chaud devient alors une soupe de noyaux et d'électrons liées un **PLASMA CHAUD**.

chauffe, Marcel, chauffe!

Vous savez quoi ?  
On serait mieux à quatre

Vous croyez ?

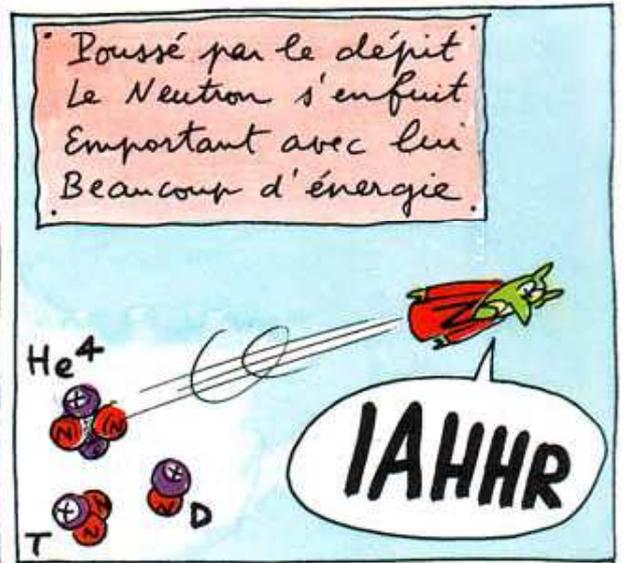
oui, à cette température, ça serait plus **STABLE**

A partir de **150 MILLIONS DE DEGRÉS (TEMPÉRATURE D'IGNITION)** il se produit quelque chose

ils sont excités..

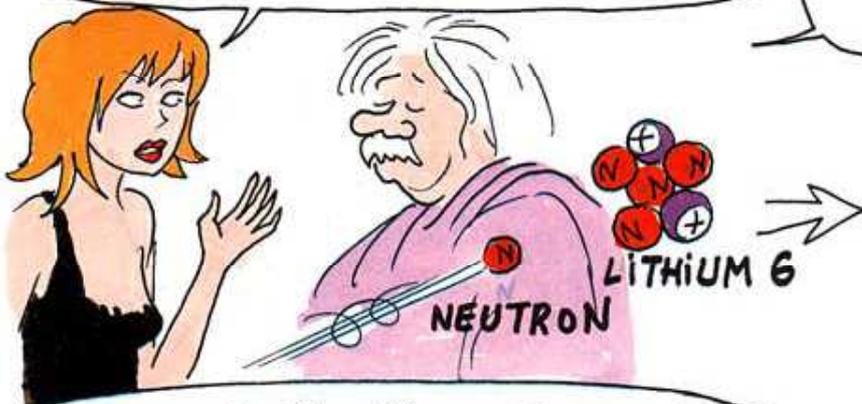
je sens le coup fourré

Hé, attendez !..  
 $2+3=5$ , et l'hélium a 4 nucléons, non ?



Alors, la **FUSION** est aussi polluante que la **FISSION**, car ces neutrons de fusion vont transformer les atomes voisins, en les changeant en atomes radioactifs

Mais on s'efforce d'absorber ces neutrons avec du lithium 6, qui donnera de l'hélium 4 et du tritium 3



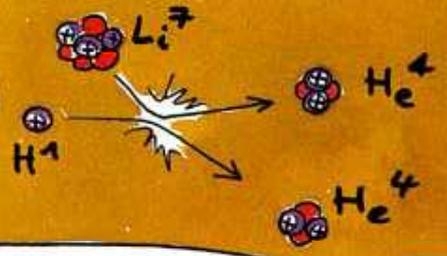
Autrement dit, l'enveloppe de lithium 6 se comporte comme un matériau "fertile". Cette réaction est censée fournir du "carburant de fusion", du tritium 3.

Oui, un réacteur à fusion a une parenté avec le surgénérateur. Et c'est heureux, car le tritium, instable (\*) n'existe pas à l'état naturel



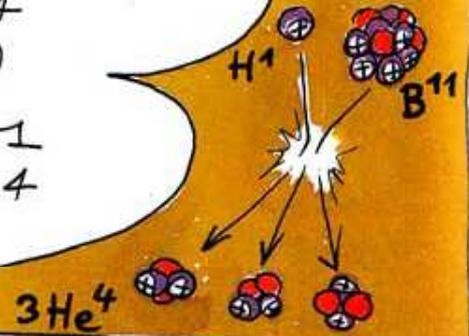
(\*) Sa demi-vie n'est que de 12 années

Pourtant, je vois qu'il existe des tas de réactions de fusion, de réarrangements de noyaux, qui ne donnent pas de neutrons libres



Lithium 7 + Hydrogène 1 (léger) donnant 2 Hélium 4  
( $7+1 = 2 \times 4$ )

Bore 11 + Hydrogène 1 donnant 3 Hélium 4  
( $11+1 = 3 \times 4$ )



La première a une température d'ignition de 500 millions de degrés. Et, pour la seconde, on frôle le milliard de degrés !..

Hmm .... évidemment...  
Concrètement, comment fusionne-t-on des noyaux ?

Dans le cœur du Soleil, cela s'effectue lentement, à une température qui est seulement de 15 millions de degrés

Le Soleil n'est qu'une braise quoi ?

Oui. Pour obtenir un "Feu" nucléaire, il faut 150 millions de degrés, pour que les réactions se produisent, disons, en un temps de l'ordre de la seconde.

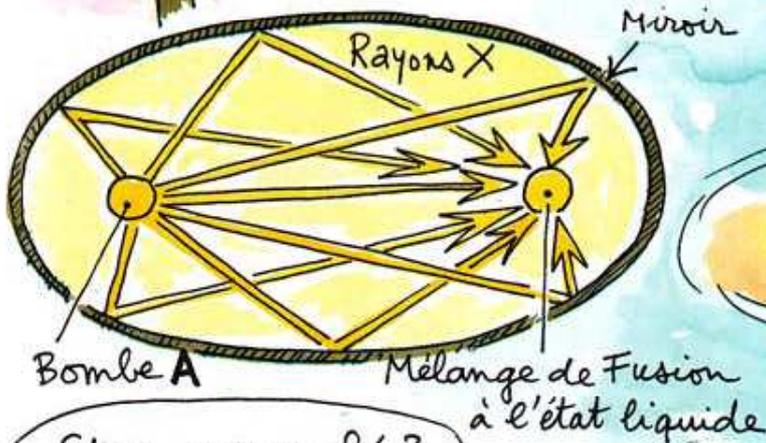
C'est ce qu'on essaie de faire dans des machines appelées **TOKAMAKS**

et ça marche?

Pas encore... on a des problèmes

alors, il ne faut pas perdre le moral

Hum, Edward Teller a fait la fusion en créant une nouvelle bombe. Nous ne voulions pas faire cela. Mais on l'a fait. Teller a eu une idée(\*) Il avait toujours de très bonnes idées. Lorsque la bombe A explose, elle commence par cracher pendant les premiers millièmes de seconde une grande quantité de rayons X. Teller a proposé de réfléchir ces rayons avec une sorte de miroir, et de les focaliser sur une cible faite d'un mélange Deutérium-Tritium.



Et ça a marché?

Hélas, oui, très bien...

(\*) Edward Teller, chercheur à LOS ALAMOS pendant la guerre, a servi de modèle pour le film DOCTEUR FOLAMOUR

Teller a même construit le miroir en Uranium 238

Pourquoi, de l'Uranium 238?

Mais si, réfléchis. La bombe H explose. Les neutrons de fusion attaquent le matériau **FERTILE** **U 238** et le transforment en **Pu 239** qui se fissionne aussitôt.

C'est la terrible bombe **FISSION-FUSION-FISSION**

# LA FUSION PAR ÉNERGIE DIRIGÉE



On essaie de réaliser la **FUSION** en focalisant sur un mélange **DEUTÉRIUM-TRITIUM** (à l'état liquide) toutes les formes d'**ÉNERGIE**: Rayonnements, issus de très puissants **LASERS**, particules diverses: électrons, noyaux issus des accélérateurs. La **PUISSANCE** à mettre en jeu est phénoménale. Il faut (pendant quelques milliardièmes de seconde), pour allumer ce feu **THERMONUCLÉAIRE**, concentrer une puissance équivalente à celle d'un miroir solaire ayant la superficie de la France, sur une sphère de moins d'1mm de diamètre!

la **PUISSANCE INSTANTANÉE** est énorme mais l'**ÉNERGIE** globale reste modeste: Cette "allumette" nucléaire équivaut à deux cents grammes de poudre.

# ÉPILOGUE

Nous avons besoin de l'**ÉNERGIE NUCLÉAIRE**  
Mais tout cela, **FISSION, FUSION**  
présente bien des inconvénients

Il y a ces  
fichus déchets !

Et des tas de risques  
accidentels. Si un réacteur  
s'emballait, il fondrait  
le récipient d'acier, le  
béton, et le sol lui-même.  
(**SYNDROME CHINOIS (\*)**) et  
la masse en fission  
s'enfoncerait dans le sol  
sans qu'on puisse stopper  
ce processus

que faire ?

40 ans, c'est peu. Nous ne  
sommes qu'au début de  
l'**ÈRE NUCLÉAIRE**.

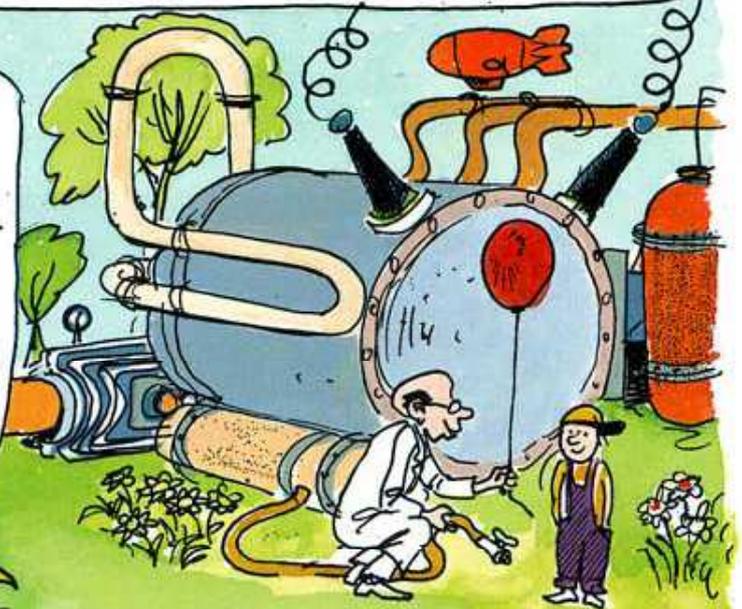
Moi, je crois à des progrès révolu-  
tionnaires possibles, susceptibles  
de changer complètement les données  
du problème, mais plus du côté de  
la **FUSION** que de la **FISSION**

Ah...

(\*) Image due aux atomistes, selon laquelle le réacteur, traversant la Terre de part en part, réapparaîtrait... en Chine !...

Dans les réactions de fusion, où n'interviennent pas de neutrons à l'état libre, on peut théoriquement **CONFINER** ces **PLASMAS DE FUSION** à l'aide de puissants dispositifs magnétiques (les particules chargées "fuient" les régions où règnent des champs magnétiques intenses).

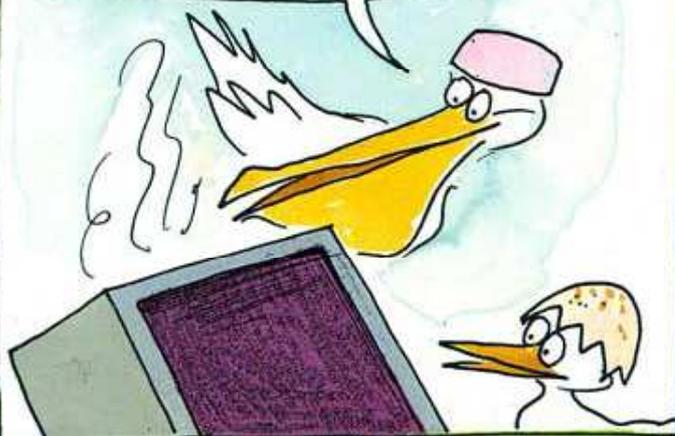
**L'AGE D'OR!** la Centrale à fusion, non-polluante, (lithium-hydrogène ou bore-hydrogène). Seul produit de réaction : de l'hélium, avec lequel on pourrait gonfler des ballons pour les enfants !



Laissez-moi rire, c'est du rêve !

Pourtant, il existe des brûles à catalyse qui permettent de faire du feu **CHEZ SOI**, fenêtres fermées, sans utiliser de cheminée !..

C'est vrai. Cela donne de la vapeur d'eau et du gaz carbonique, qui sont respirables, en quantité modérée.



Pourrait-il exister un **CATALYSEUR DE FUSION** qui permettrait d'opérer à température acceptablement basse ?



On en connaît déjà un : le Carbone

Eh oui, au fait, comment le Soleil se débrouille-t-il pour marcher par fusion, alors que sa chaudière centrale n'est qu'à **15 MILLIONS** de degrés, c'est-à-dire à une température **DIX FOIS PLUS FAIBLE QUE LA TEMPÉRATURE D'IGNITION**, qui est de **150 MILLIONS DE DEGRÉS ?**

Le Carbone sert de catalyseur. Il intervient dans les étapes, assez complexes, de la réaction et, en fin du compte, est régénéré.

Cela débute par Carbone 12 plus Hydrogène 1 donnant Azote 13, Puis cet azote 13 est transformé en azote 15, et enfin :

$$\text{Azote 15} + \text{Hydrogène 1} \rightarrow \text{Carbone 12} + \text{Hélium 4}$$

( Cycle de Bethe )

Mais cette réaction est beaucoup trop **LENTE** (sauf pour le Soleil, qui a tout son temps).

## LES MUONS

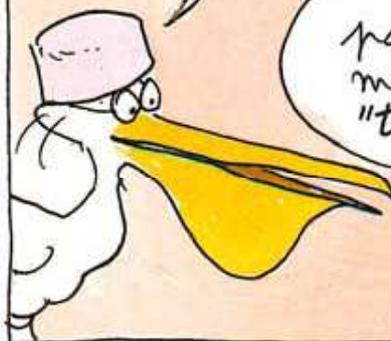
On peut créer, dans un mélange gazeux froid, des réactions chimiques complexes en bombardant les molécules avec les électrons d'une simple décharge électrique.



Exemple :  
 $2\text{CH}_4$  (méthane)  
 +  $\frac{1}{2}$  donne :  
 $\text{C}_2\text{H}_2$  (acétylène) +  $3\text{H}_2$



On peut, dans une molécule remplacer les électrons par des **MUONS**, des particules qui ressemblent à de gros électrons et qui rapprochent les noyaux les uns des autres



Alors, pourquoi ne pas bombarder un mélange de Fusion "tiède" avec des Muons.

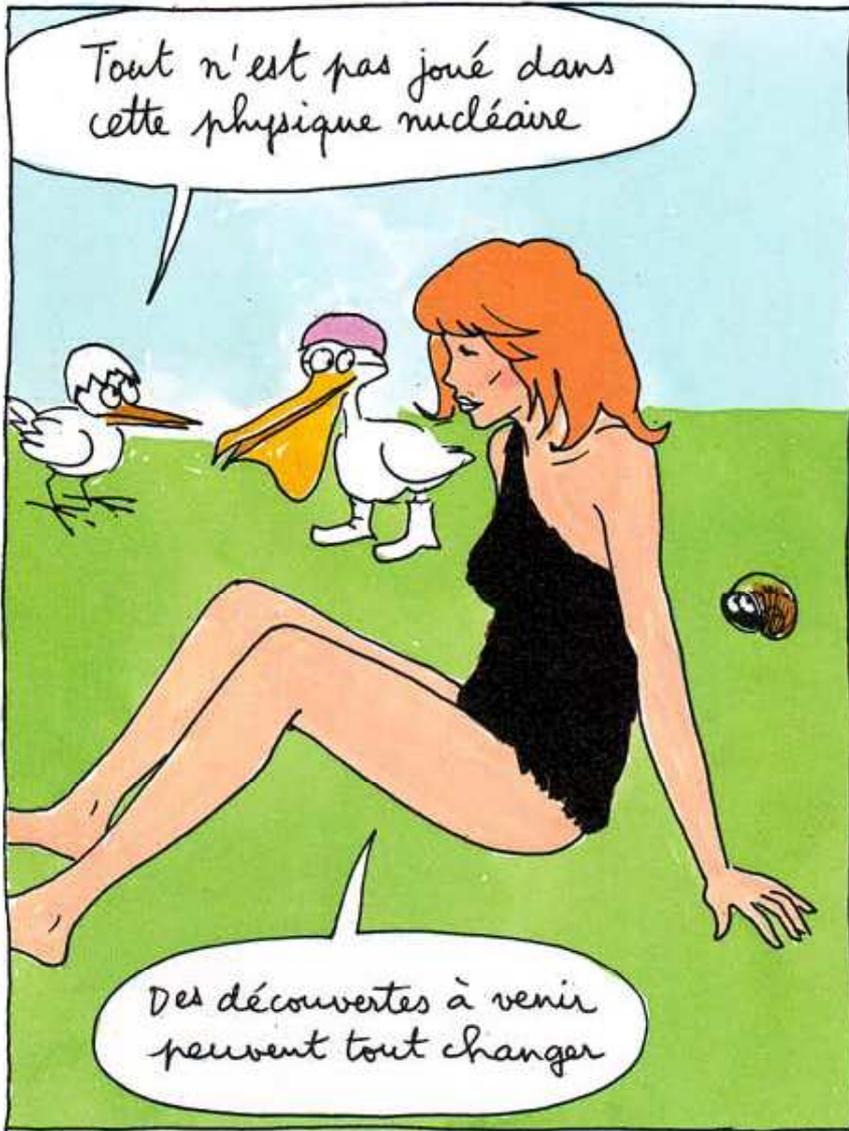


ça marche?

NO PROBLEM, SIR. On sait créer des muons dans un accélérateur. Quand ils percutent des noyaux de deutérium et de tritium, ça crée de l'hélium. Donc il y a fusion. Mais, entre cette expérience de microphysique, qui porte sur quelques particules et une fusion industrielle exploitable, il y a un sacré bout de chemin à faire !!!...

On peut aussi jouer sur les **SPINS** des noyaux. C'est-à-dire leur faire danser la valse au lieu du tango. Cela accroît l'efficacité des collisions.









La science, Pfff...

Content ?

une si jolie planète

**FIN**

43