

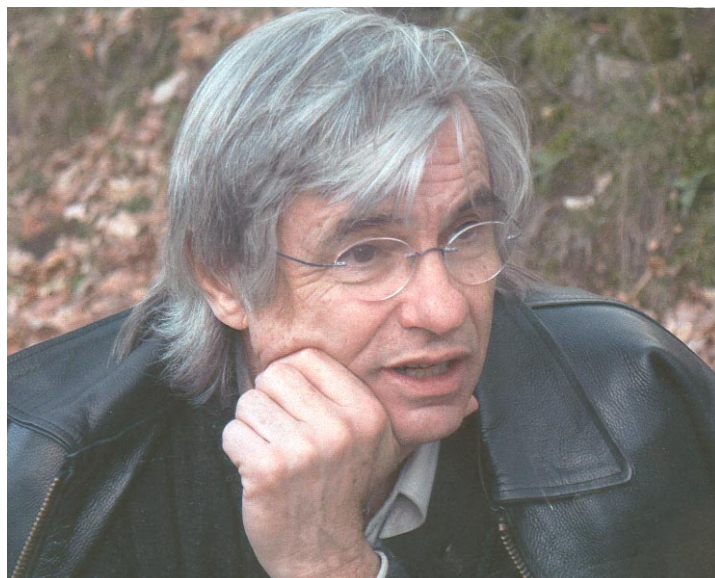
ÉNERGÉTIQUEMENT VÔTRE

par Jean~Pierre Petit



Savoir sans Frontières

Association Loi de 1901



Jean-Pierre Petit, Président de l'Association

Ancien Directeur de Recherche au Cnrs, astrophysicien, créateur d'un genre nouveau : la Bande Dessinée Scientifique. Créé en 2005 avec son ami Gilles d'Agostini l'association Savoir sans Frontières qui s'est donnée pour but de distribuer gratuitement le savoir, y compris le savoir scientifique et technique à travers le monde. L'association, qui fonctionne grâce à des dons, rétribue des traducteurs à hauteur de 150 euros (en 2007) en prenant à sa charge les frais d'encaissement bancaire. De nombreux traducteurs accroissent chaque jour le nombre d'albums traduits (en 2007 : 200 albums gratuitement téléchargeables, en 28 langues, dont le Laotien et le Rwandais).

Le présent fichier pdf peut être librement dupliqué et reproduit, en tout ou en partie, utilisé par les enseignants dans leurs cours à conditions que ces opérations ne se prêtent pas à des activités lucratives. Il peut être mis dans les bibliothèques municipales, scolaires et universitaires, soit sous forme imprimée, soit dans des réseaux de type Intranet.

L'auteur a entrepris de compléter cette collection par des albums plus simples d'abord (niveau 12 ans). Egalement en cours d'élaboration : des albums « parlants » pour analphabètes et « bilingues » pour apprendre des langues à partir de sa langue d'origine.

L'association recherche sans cesse de nouveaux traducteurs vers des langues qui doivent être leur langue maternelle, possédant les compétences techniques qui les rendent aptes à produire de bonnes traductions des albums abordés.

Pour contacter l'association, voir sur la homepage de son site

<http://www.savoir-sans-frontieres.com>

Coordonnées bancaires France ➔ Relevé d'Identité Bancaire (RIB) :

Etablissement	Quichet	N° de Compte	Cle RIB
20041	01008	1822226V029	88

Domiciliation : La banque postale
Centre de Marseille
13900 Marseille CEDEX 20
France

For other countries ➔ International Bank Account Number (IBAN) :

IBAN
FR 16 20041 01008 1822226V029 88

and ➔ Bank Identifier Code (BIC) :

BIC
PSSTFRPPMAR

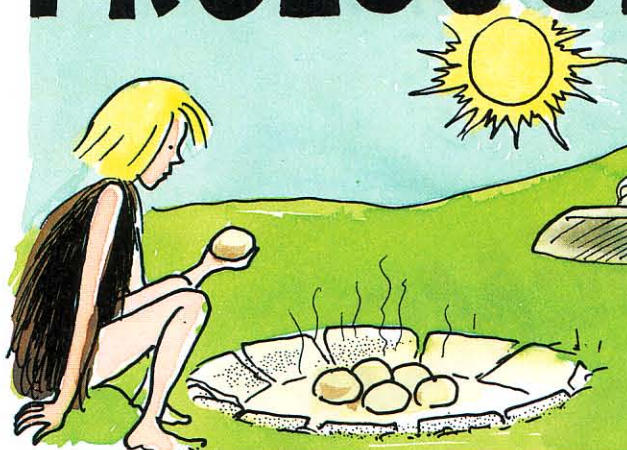
Les statuts de l'association (en français) sont accessibles sur son site. La comptabilité y est accessible en ligne, en temps réel. L'association ne prélève sur ces dons aucune somme, en dehors des frais de transfert bancaire, de manière que les sommes versées aux traducteurs soient nettes.

L'association ne salarie aucun de ses membres, qui sont tous des bénévoles. Ceux-ci assument eux-mêmes les frais de fonctionnement, en particulier de gestion du site, qui ne sont pas supportés par l'association.

Ainsi, vous pourrez être assurés, dans cette sorte « d'œuvre humanitaire culturelle » que quelle que soit la somme que vous donniez, elle sera *intégralement* consacrée à rétribue les traducteurs.

Nous mettons en ligne en moyenne une dizaine de nouvelles traductions par mois.

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 enterrée.

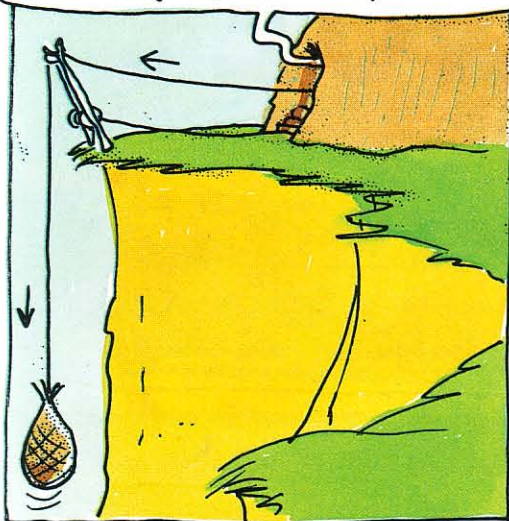
qu'est-ce que tu fais ?

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

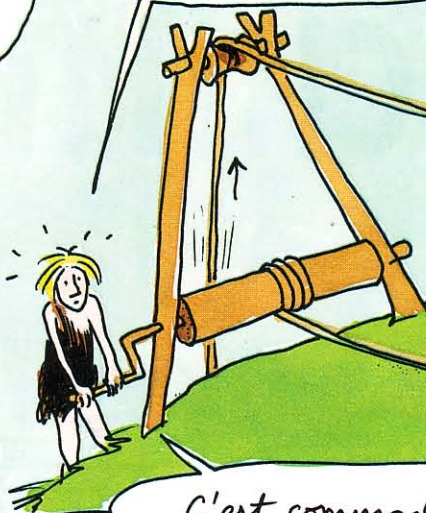


C'est vraiment fatigant de rentrer en vitesse ces pierres, chaque soir

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 !

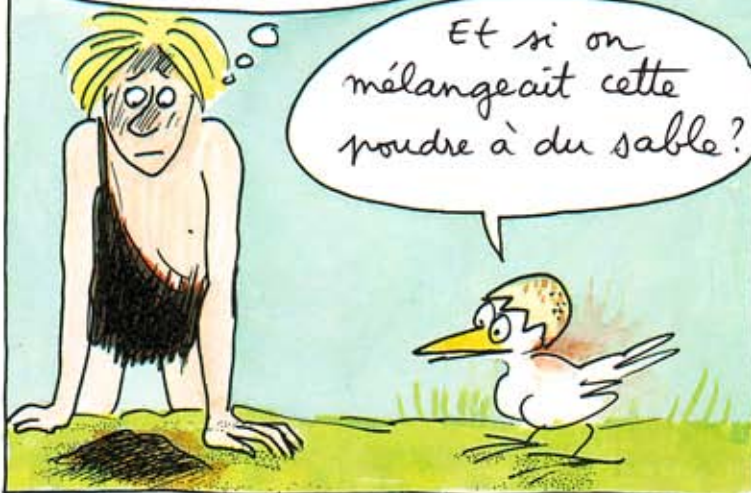


tu vas voir...

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

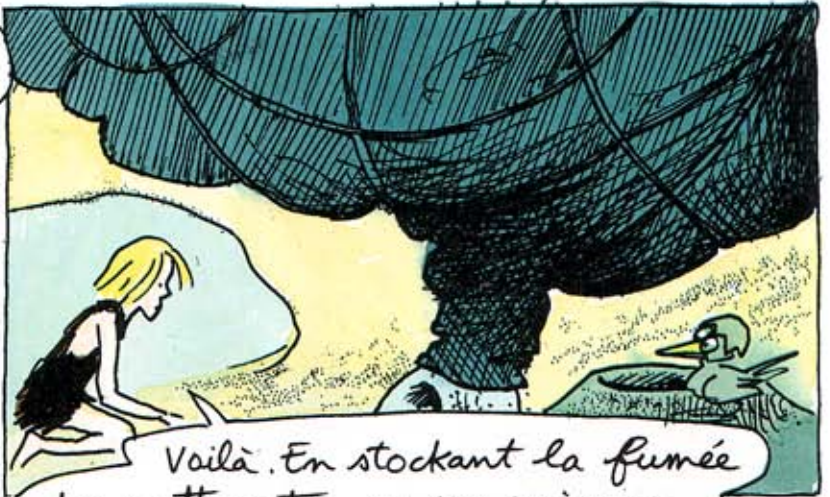
Nous ne serons plus transis de froid cet hiver...



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



on peut en crever, tu veux dire!



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

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



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 NUCLEAIRE

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



d'où vient
l'énergie?

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

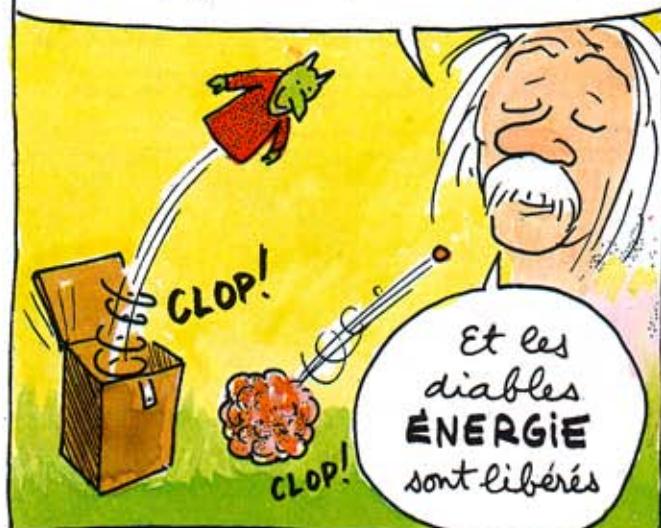


...des boîtes, avec des diables dedans!?



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.



Mais cela durera longtemps, très longtemps...

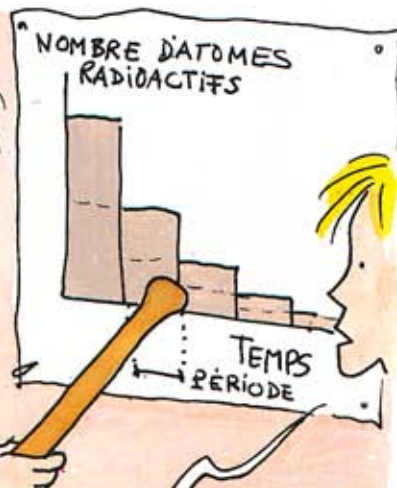


Et, combien de temps les diables restent-ils dans les boîtes? combien de temps ces **NOYAUX** gardent-ils cette **ÉNERGIE** qu'ils possèdent?



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.

Ce 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



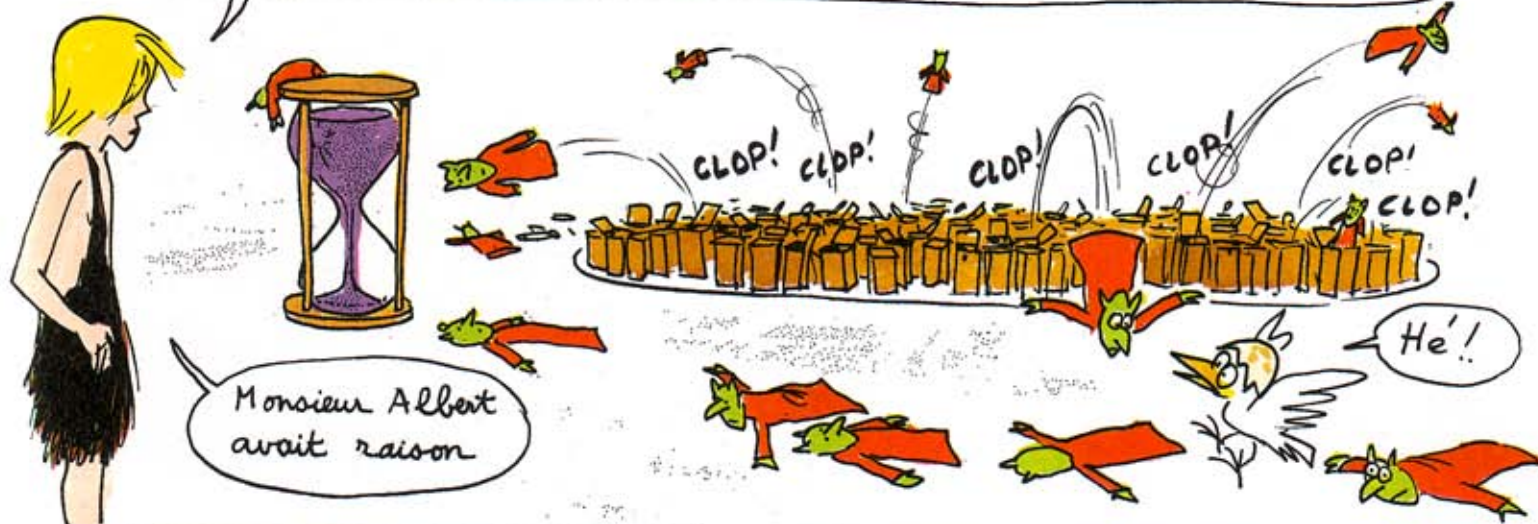
les diables émis par les noyaux radioactifs jaillissent ainsi avec une grande violence

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.



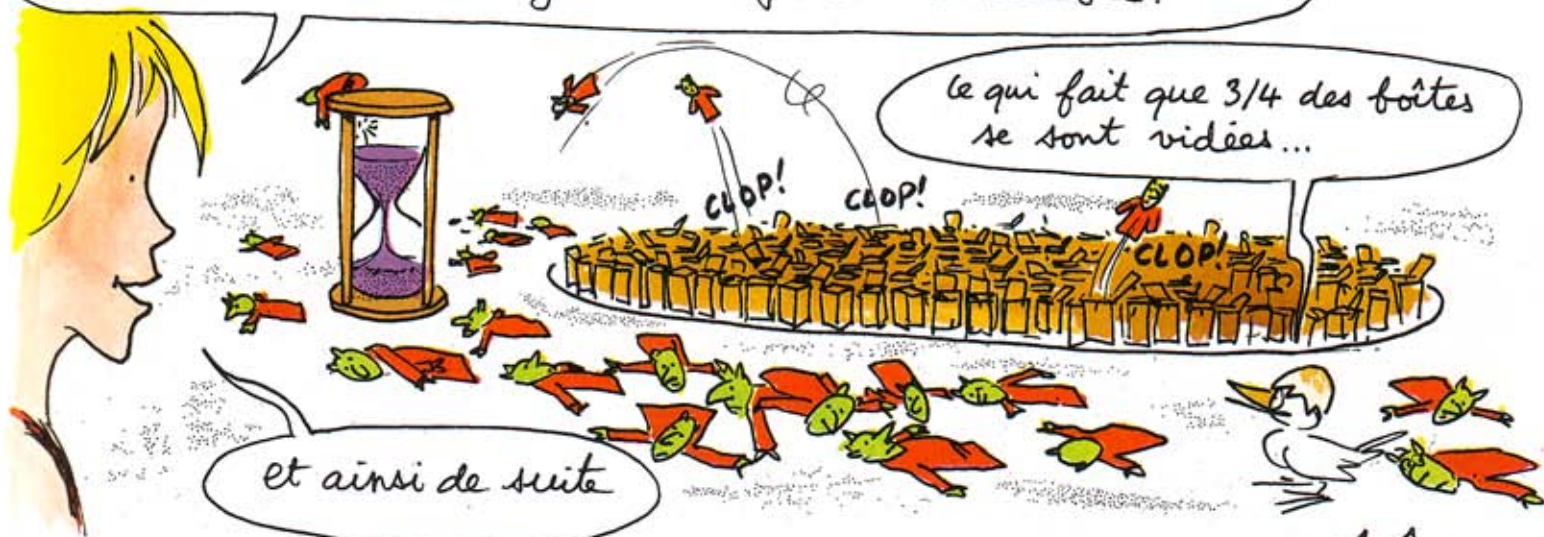
Je mets ces boîtes les unes à côté des autres

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



Monsieur Albert avait raison

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



ce qui fait que $3/4$ des boîtes se sont vidées...

et ainsi de suite

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**

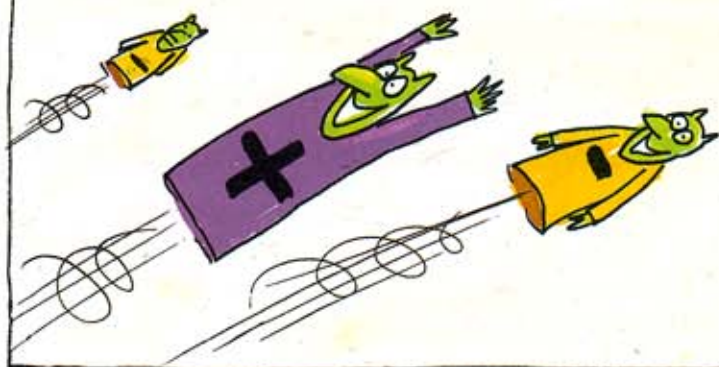
Bref, il faut une grande quantité de matière radioactive pour pouvoir se chauffer

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 γ . Une sorte de lumière invisible.



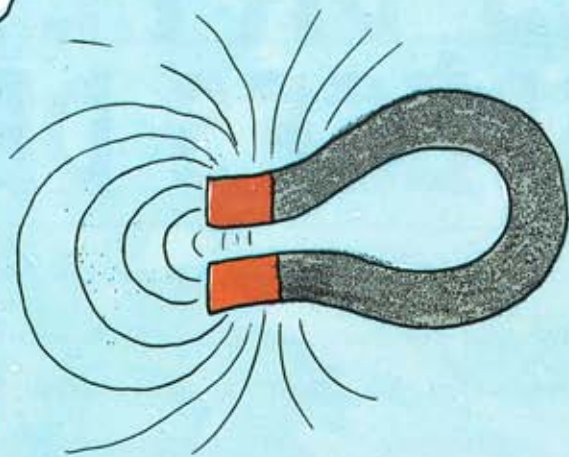
D'autres types de diables sont ceux qui possèdent une **CHARGE ÉLECTRIQUE**.



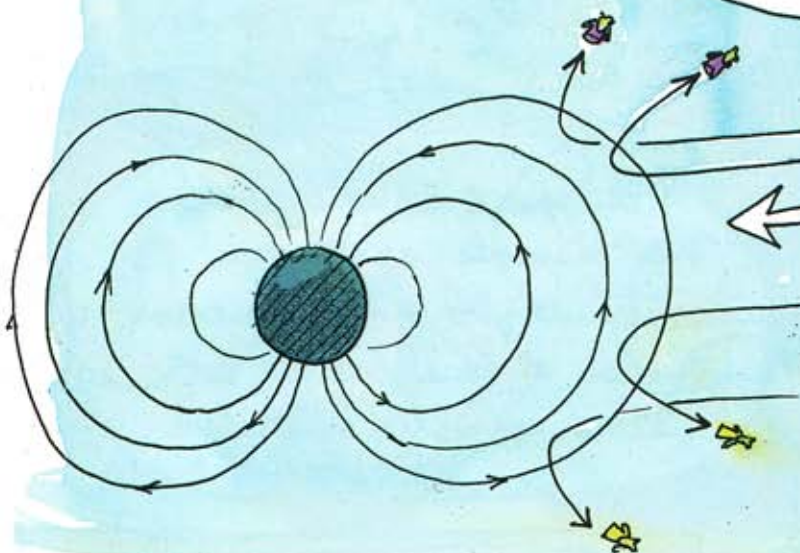
et ils vont vite?

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**



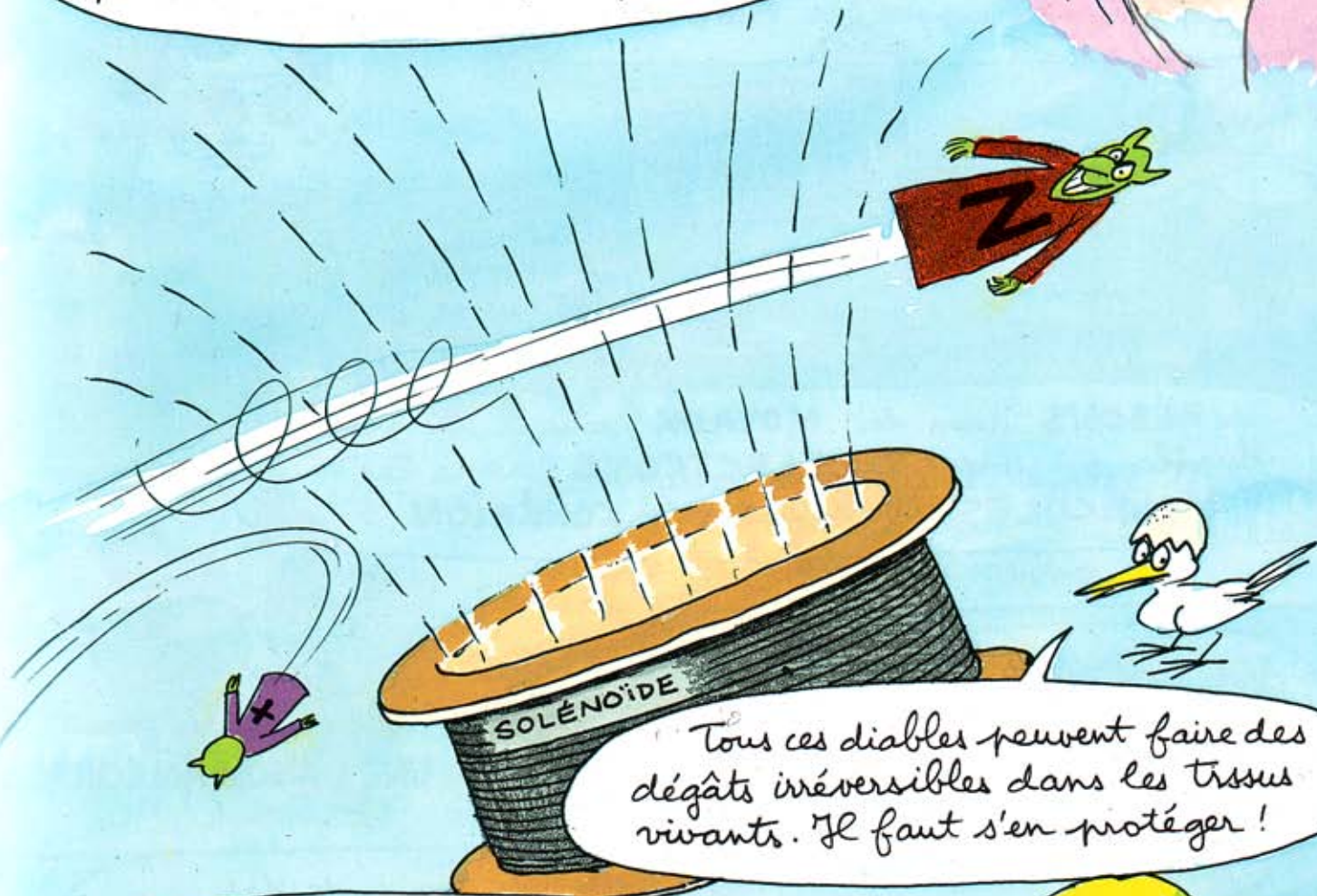
De même, les particules chargées émises par le Soleil (Vent solaire) se réfléchissent sur le champ terrestre(*)



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.



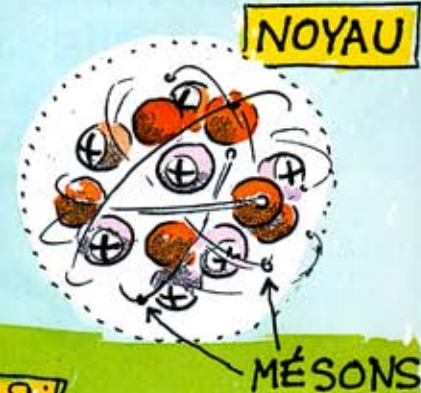
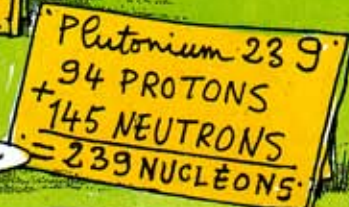
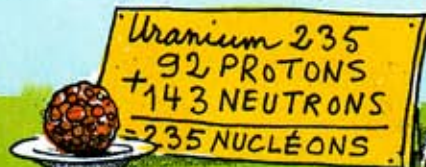
Tous ces diables peuvent faire des dégâts irréversibles dans les tissus vivants. Il faut s'en protéger !

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.



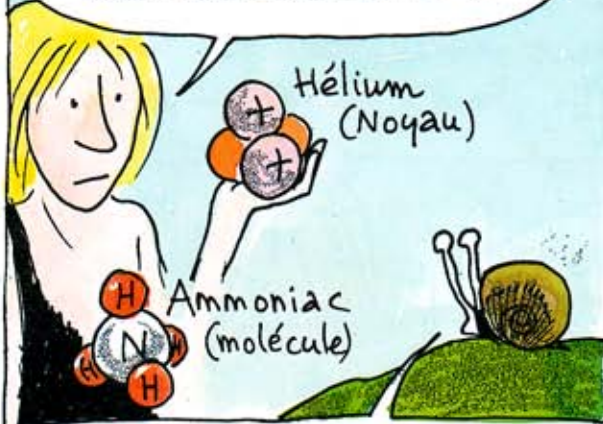
STABILITÉ DES NOYAUX

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

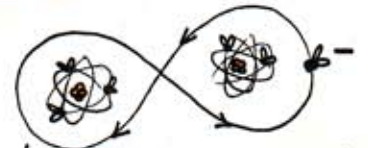


Les **MÉSONS** dans les **NOYAUX**, jouent un peu le rôle que jouent les **ÉLECTRONS** dans les **MOLECULES**: ils assurent la **COHÉSION**.

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

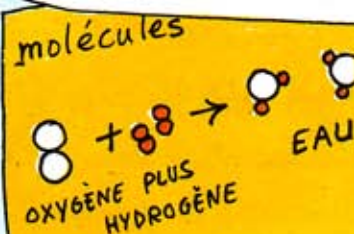


Les **NOYAUX** sont des assemblages de **NUCLÉONS**. Les **MOLECULES** sont des assemblages de **NOYAUX**. Et, nous mêmes, sommes des assemblages de molécules.



Électron assurant
UNE LIASON MOLECULAIRE

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



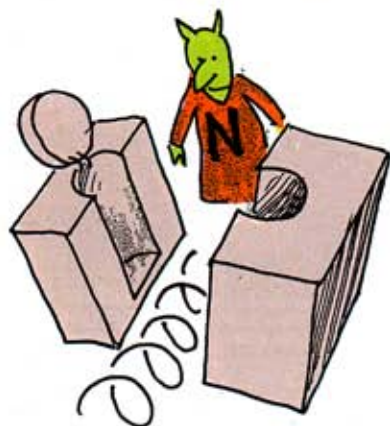
la **PHYSIQUE NUCLEAIRE** étudiera des **RÉARRANGEMENTS** de **NOYAUX**

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

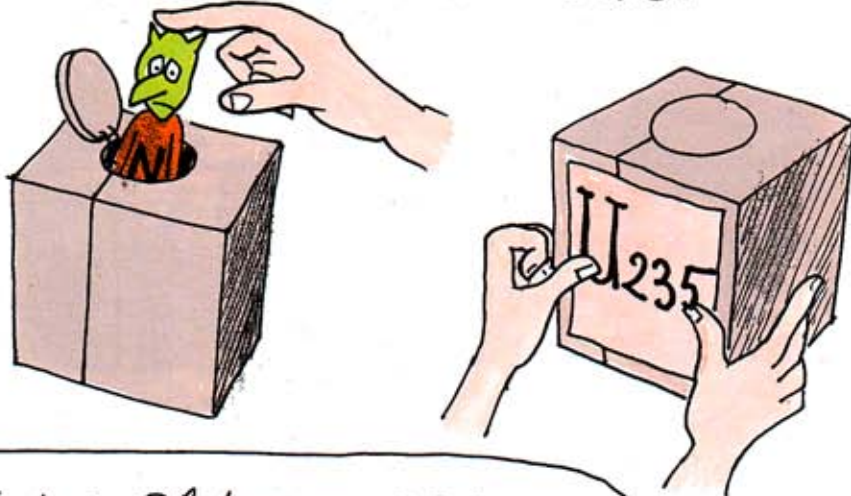
Mais des neutrons, agissant sur certains noyaux (eux-mêmes relativement stables, puisque dotés de durées de vie longues) peuvent les déstabiliser complètement et provoquer leur éclatement, leur **FISSION**

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

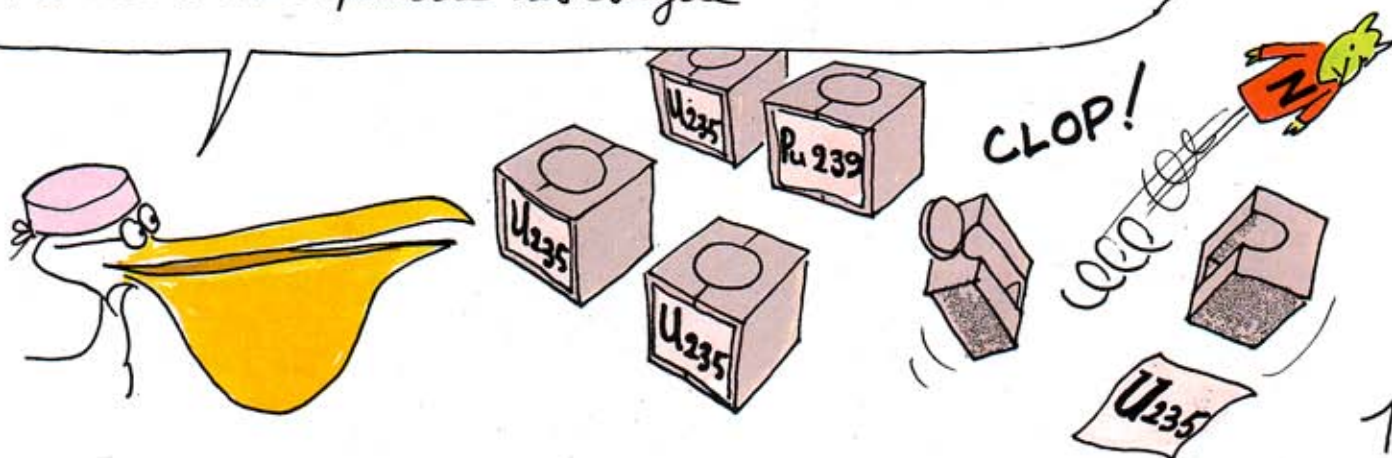
LA FISSION



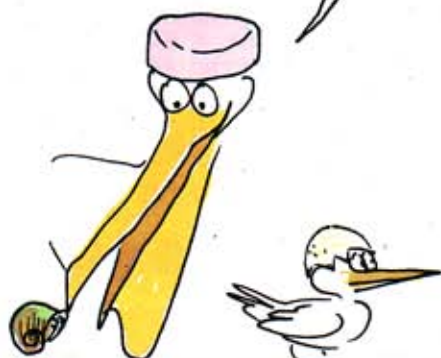
Ces noyaux peuvent être représentés comme un assemblage de deux blocs de masses dissemblables et d'un neutron.



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...

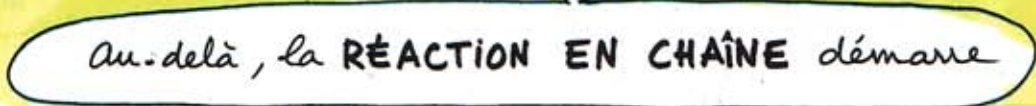
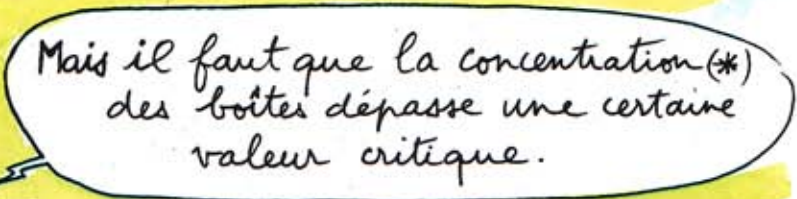
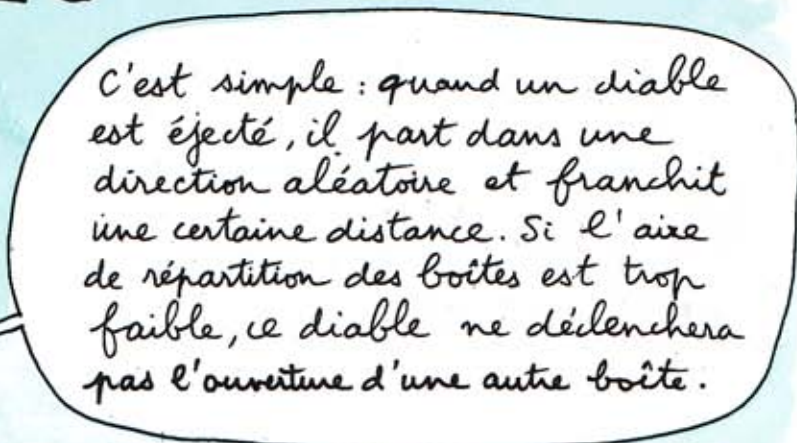


Ben, dis donc!

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



(*) 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



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

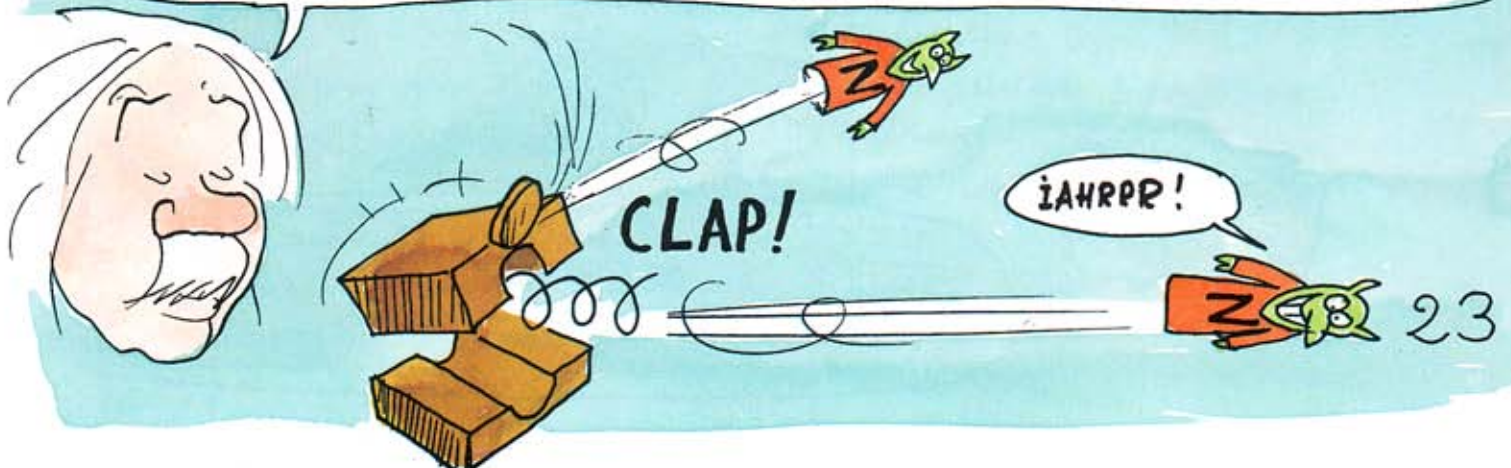


Autrement dit, quand un réacteur à Uranium fonctionne, il contient un mélange de matériau **FISSILE** et de matériau **FERTILE**. Il se fabrique donc, à partir du matériau **FERTILE**, une certaine quantité de matière **FISSILE**



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



RÉACTEURS À NEUTRONS RAPIDES

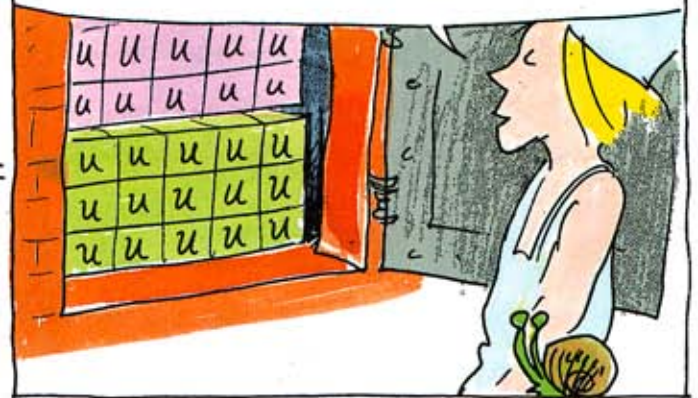
Ces **NEUTRONS RAPIDES** interagissent bien avec l' U_{238} , fertile, en créant du Pu_{239} , fissile, à un bon rythme.

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

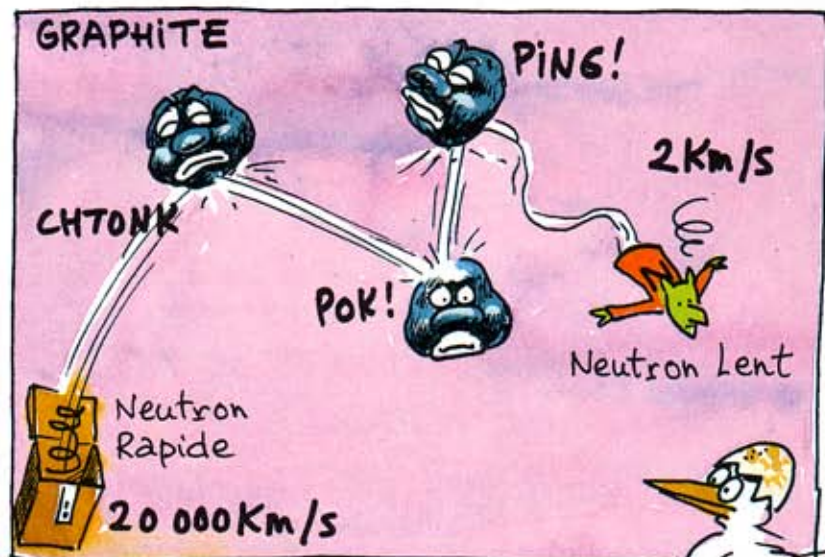
TROIS ANS PLUS TARD

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



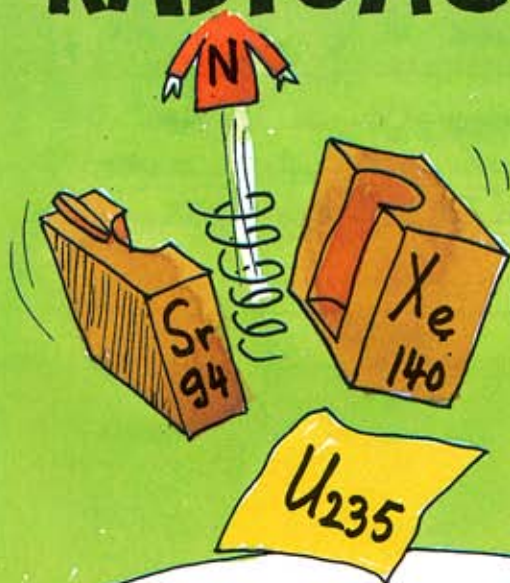
Il se fabrique toujours un peu de $Pu\ 239$, mais beaucoup moins que dans un réacteur à neutrons rapides

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



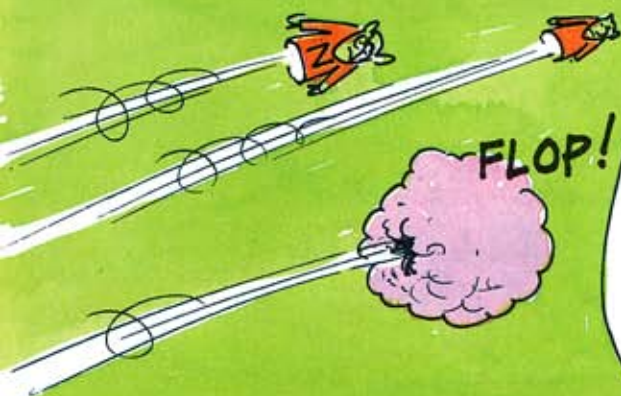
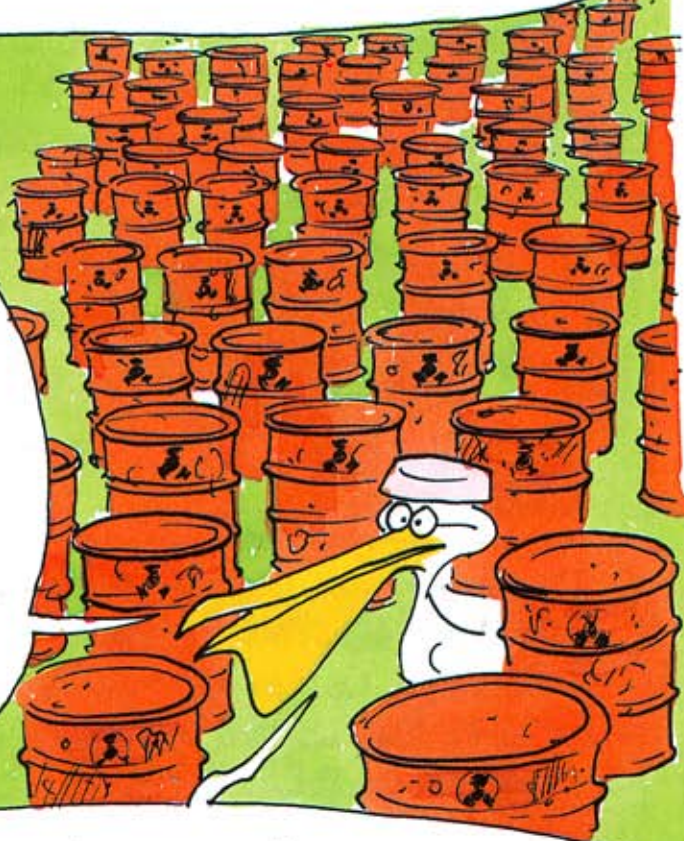
DÉCHETS RADIOACTIFS

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

CLAP!

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**

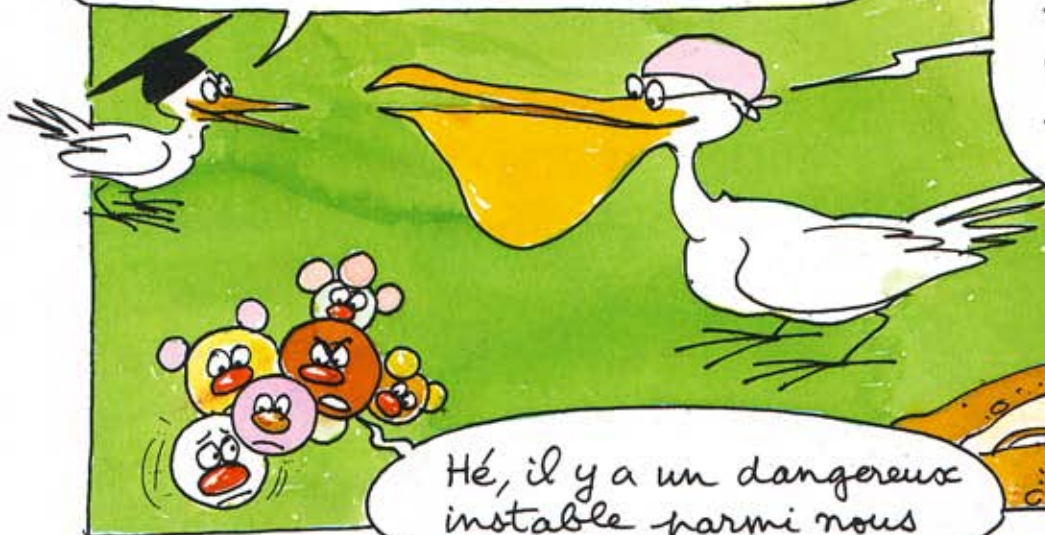
Oh, regardez! Amselme a disparu, mais on arrive à le **LOCALISER** à cause des diables qui sont émis par son chargement.



CLAP!

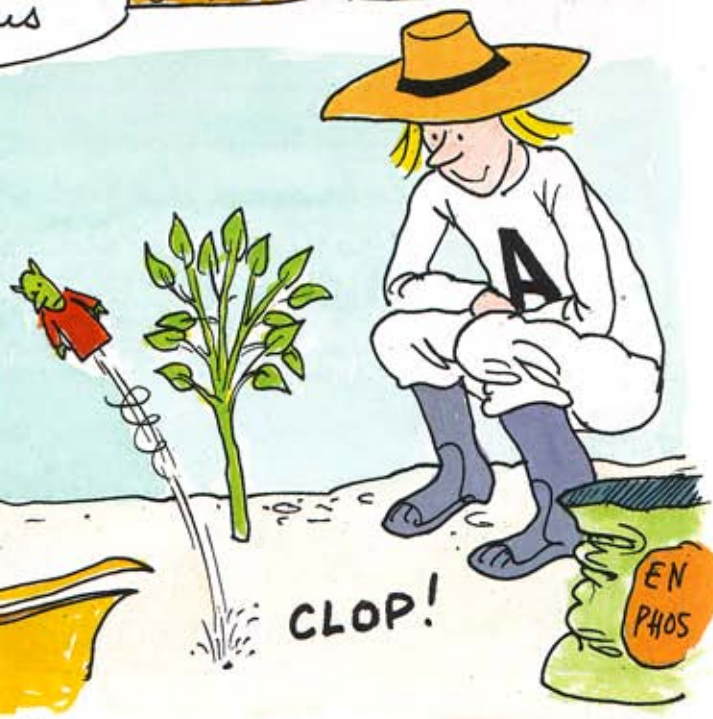
J'ai une idée! En détectant cette émission de particules, en utilisant cette **RADIOACTIVITÉ ARTIFICIELLE**, on va pouvoir suivre des noyaux **A LA TRACE**.

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.




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!

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.



ça vient, ça vient !..

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.



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 y a 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 différant que par leur nombre de neutrons. Le mélange Deutérium - Tritium tend à donner de l'Hélium

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 libres un **PLASMA CHAUD**.

chauffe, Marcel, chauffe!

Vous savez quoi ?
On serait mieux à quatre

Vous croyez ?

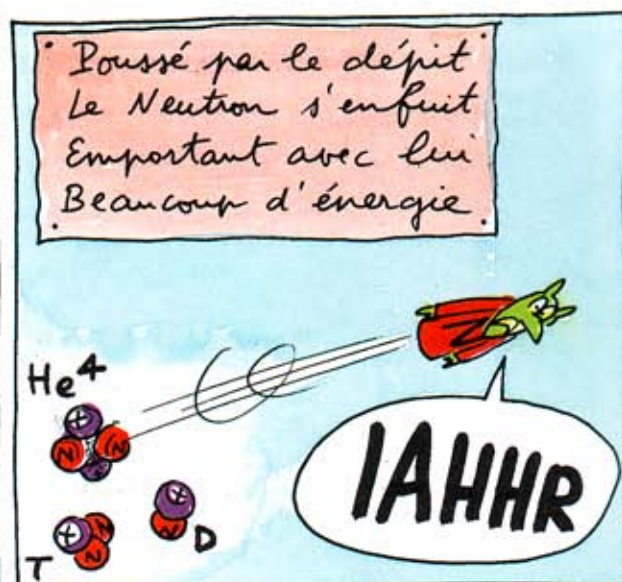
oui, à cette température, ça serait plus **STABLE**

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

ils sont excités..

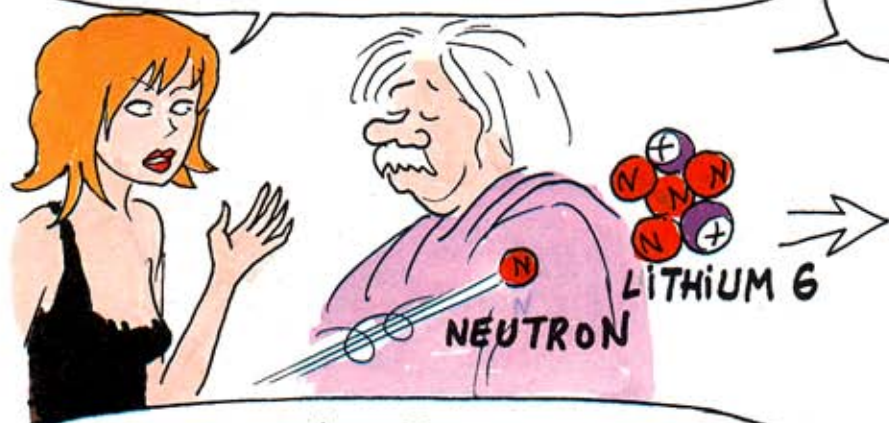
je sens le coup fourré

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.

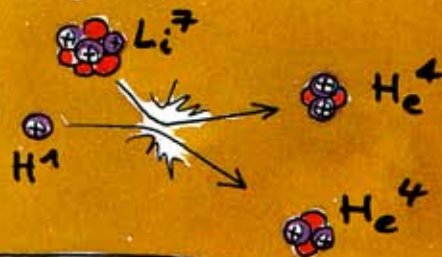
Oui, un réacteur à fusion a une parenté avec le surgénérateur. Et c'est heureux, car le tritium, instable (*) n'existe pas à l'état naturel



mais il y a seulement régénération du Tritium

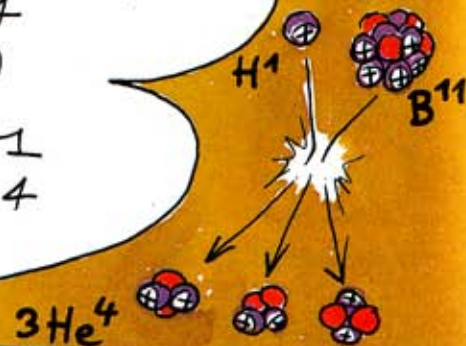
(*) Sa demi-vie n'est que de 12 années

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

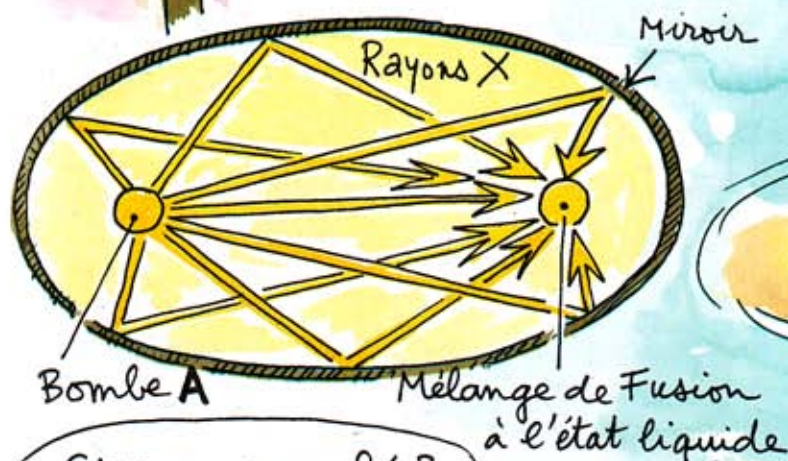
et ça marche?

Pas encore... on a des problèmes

allons, 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 milliardièmes 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 NUCLEAIRE**
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 NUCLEAIRE**.

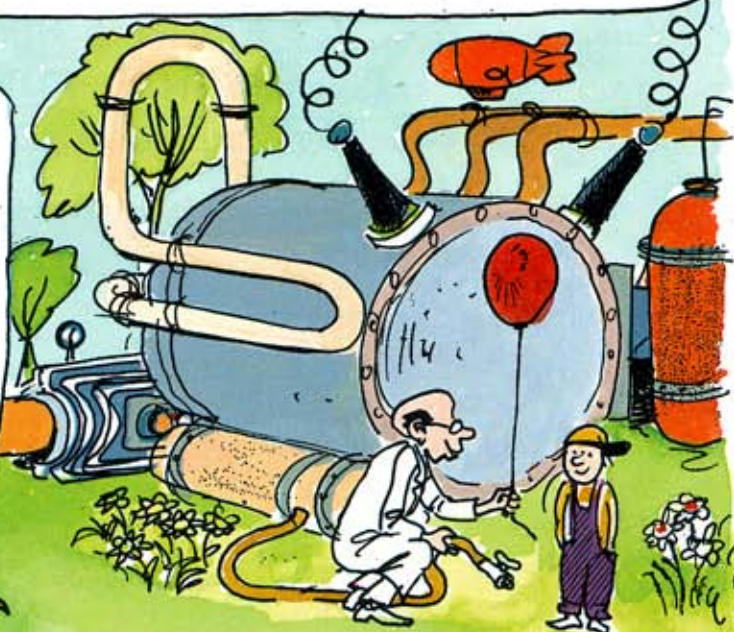
Moi, je crois à des progrès révolu-
tionnaires possibles, susceptibles
de changer complètement les données
du problème, mais plus du côté de
la **FUSION** que de la **FISSION**

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).

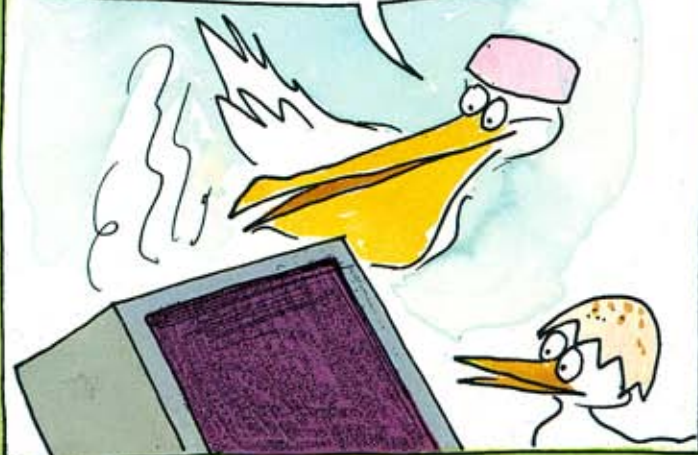
L'AGE D'OR! la Centrale à fusion, non-polluante, (lithium-hydrogène ou bore-hydrogène). Seul produit de réaction : de l'hélium, avec lequel on pourrait gonfler des ballons pour les enfants !



Laissez-moi rire, c'est du rêve !

Pourtant, il existe des poêles 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 :

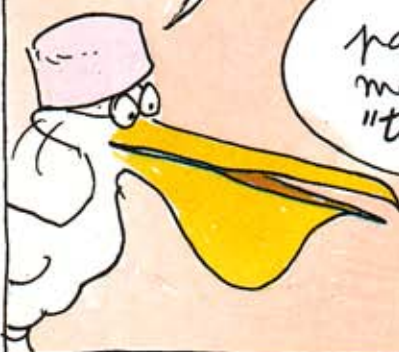
2CH_4 (méthane)

+ $\frac{1}{2}$ donne :

C_2H_2 (acétylène) + 3H_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.



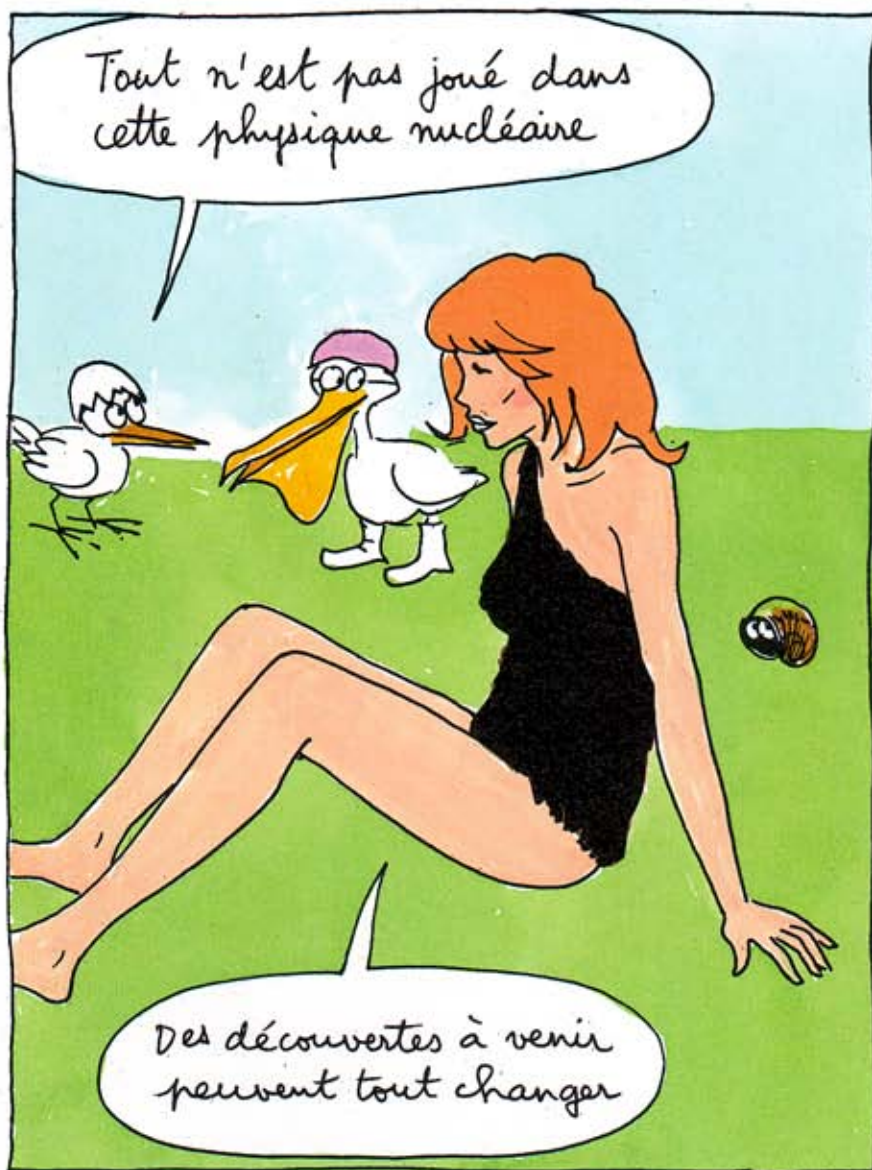
BANG

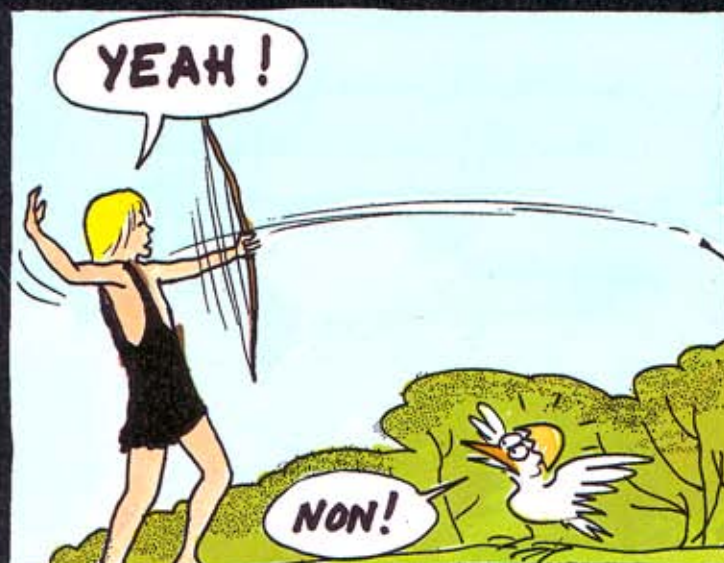
Oh pardon!

..Pouvez pas faire attention!

Et voilà, c'est la même histoire qui recommence









La Science, Pfff...

Content ?

une si
jolie planète

Fin
43