

COMMENT COMPRENDRE LA DÉGRADATION DES PESTICIDES DANS LES SOLS?

Collectif des chercheurs du projet DECISIVE*

*Par ordre alphabétique:

Ouassim Boukaroum
Didier Gori
Benoit Guyot

Patrick Höhener
Gwenaël Imfeld
Laure Malleret

Fabrice Martin-Laurent
Jérémy Masbou
Sylvain Payraudeau

Maria Prieto-Espinoza

Illustrateur:
Sergio Castagné

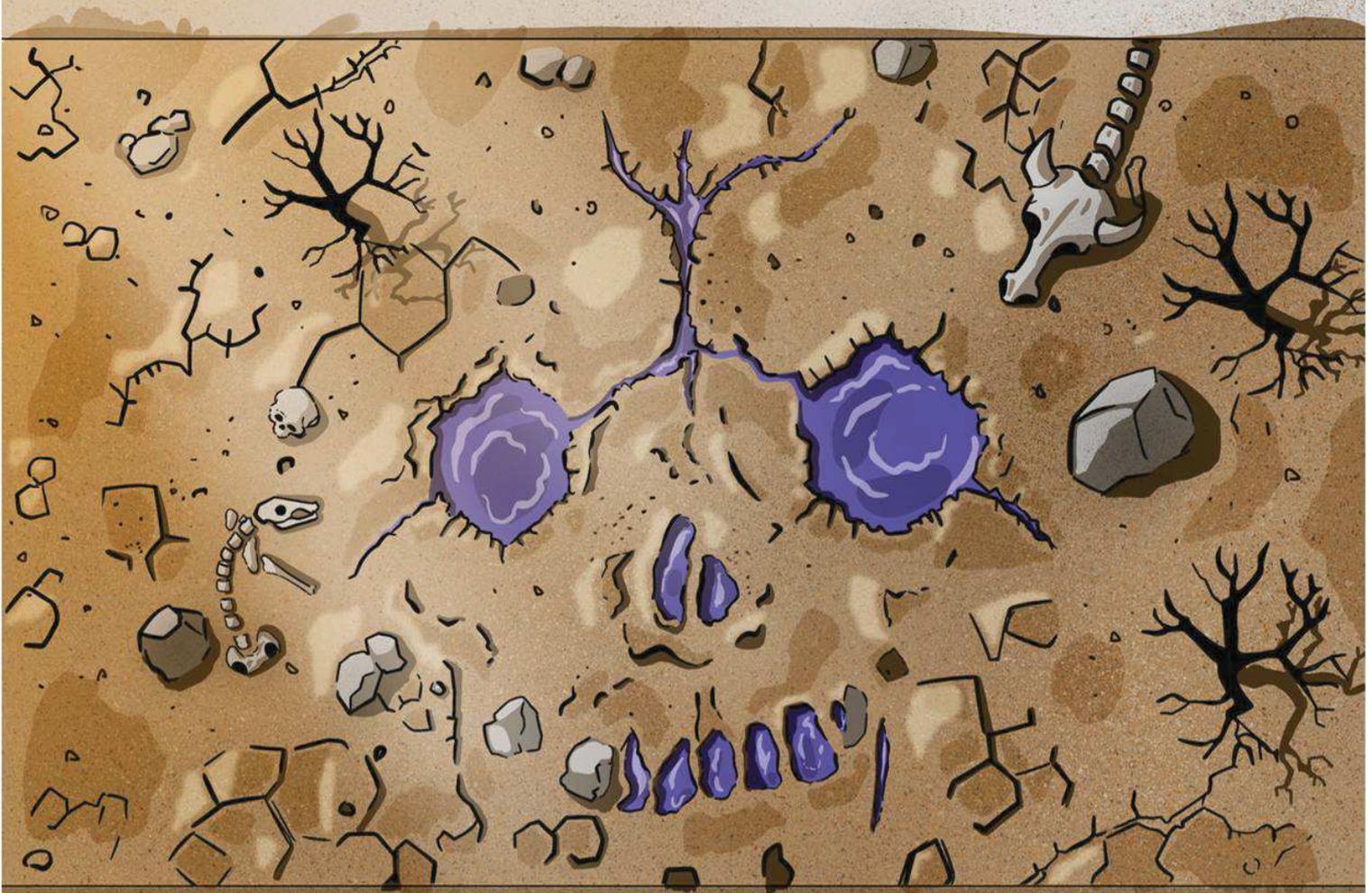
Copyright: Edition Privée 2023

1.1 Les pesticides sont utilisés dans un modèle agricole appelé agriculture conventionnelle pour supprimer les adventices (herbicides), les insectes ravageurs (insecticides) et les champignons phytopathogènes (fongicides).



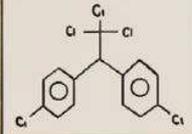
1.2 La France utilise des pesticides sur 86% de ses surfaces cultivées, ce qui explique pourquoi on les retrouve un peu partout.

1.3 Dans le passé, certains pesticides comme le DDT se sont accumulés dans les sols puis dans la chaîne alimentaire, avec des impacts graves pour la santé des écosystèmes et des humains.



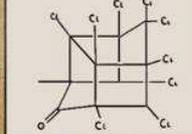
1.4 Depuis, on a banni les pesticides les plus persistants et on exige aujourd'hui que les pesticides disparaissent d'un champ dans l'année de culture.

D.D.T.
Dichlorodiphenyltrichloroethane



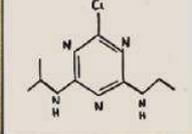
BANNED
1970

CHLORDECONE
A.k.a. Kepone



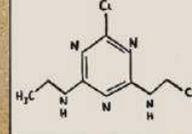
BANNED
1990

ATRAZINE
6-chloro-N-ethyl N'-(1-methylethyl)-
triazine-2,4-diamine



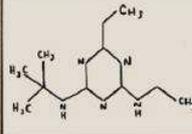
EU REGULATED
2003

SIMAZINE
6-chloro-N2,N4-diethyl-1,3,5-
triazine-2,4-diamine



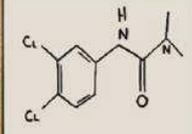
BANNED
2001

TERBUTRYNE
2-N-tert-butyl-4-N-ethyl-6-
methylsulfanyl-1,3,5-triazine-2,4-diamine



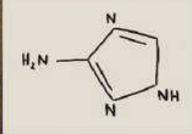
BANNED
2003

DIURON
A.k.a. DCMU



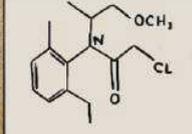
BANNED
2003

AMINOTRIAZOLE
3-Amino-1,2,4-triazole



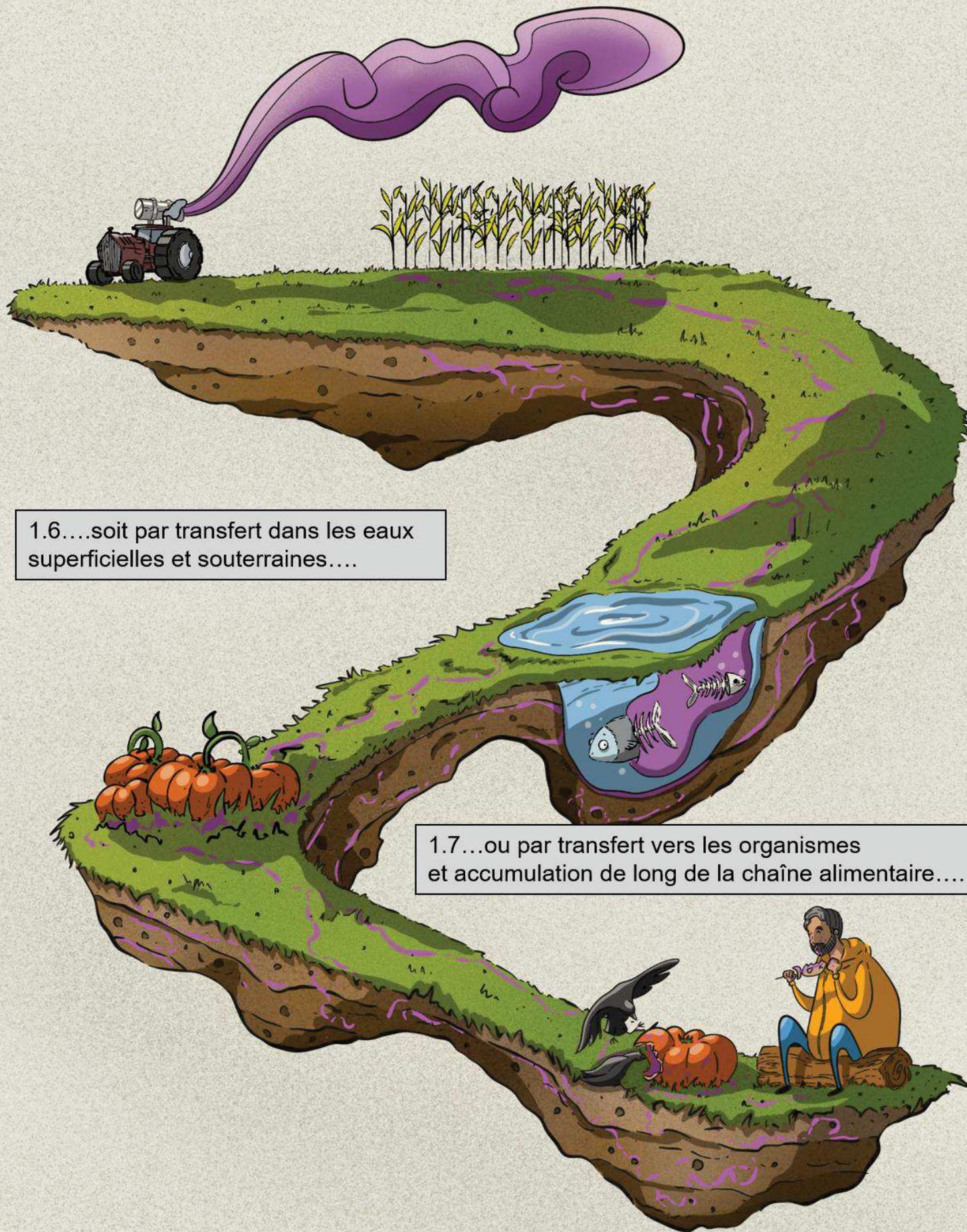
BANNED
????

S-METOLACHLOR
2-chloro-N-(2-ethyl-6-methylphenyl)-N'-
[(2S)-1-methoxypropan-2-yl]acetamide



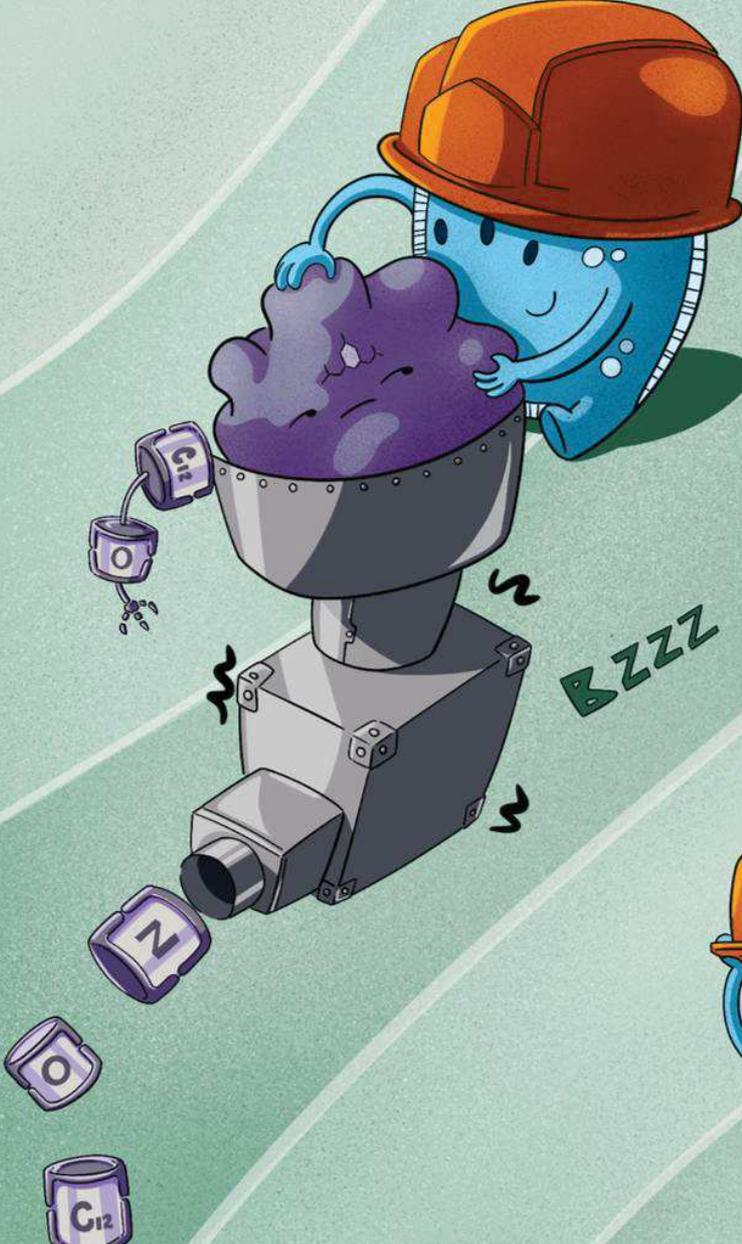
BANNED
????

1.5 Cette dissipation se fait soit par volatilisation, qui constitue cependant uniquement une dilution de la masse initiale des pesticides dans l'environnement.....

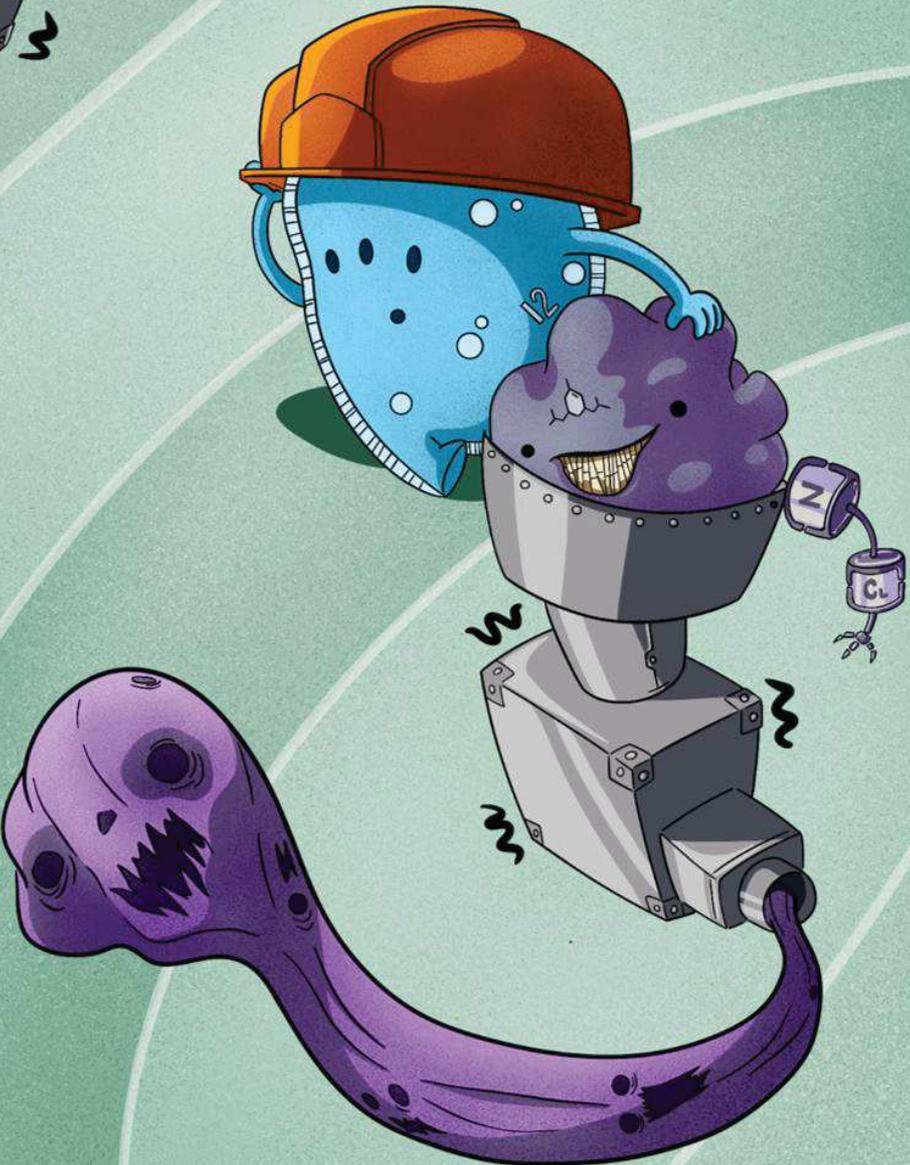


1.6....soit par transfert dans les eaux superficielles et souterraines....

1.7...ou par transfert vers les organismes et accumulation de long de la chaîne alimentaire....



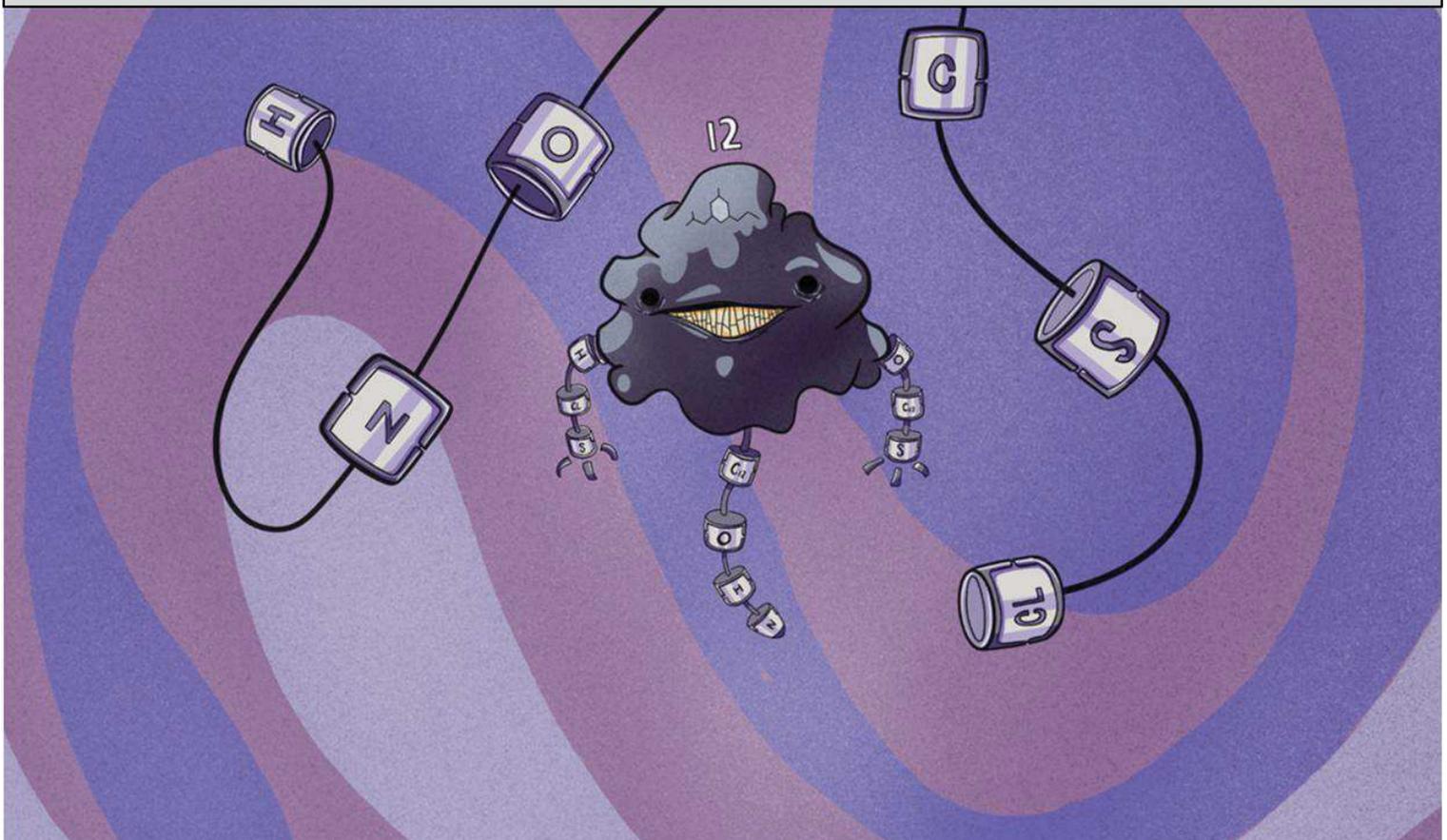
1.8 ...et par voies de dégradations. Parce qu'aucun être vivant ne veut respirer ou boire des pesticides, seule la dégradation est acceptable comme processus d'élimination.



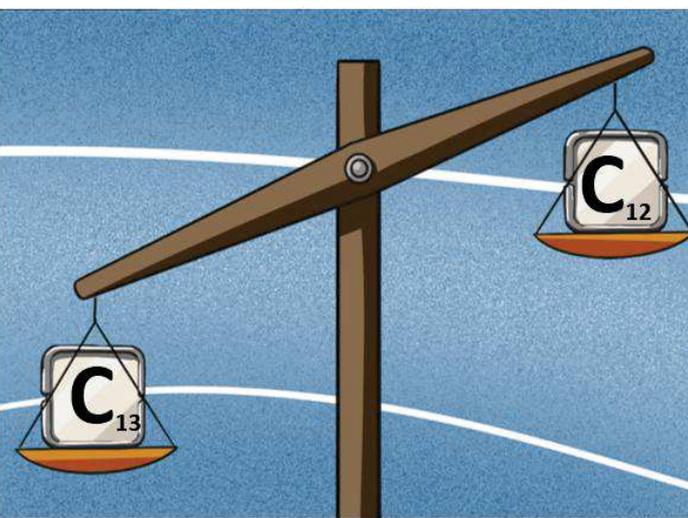
1.9 Problème : le processus de dégradation peut être imparfait et conduire à la formation de produits de transformation parfois persistants et toxiques.



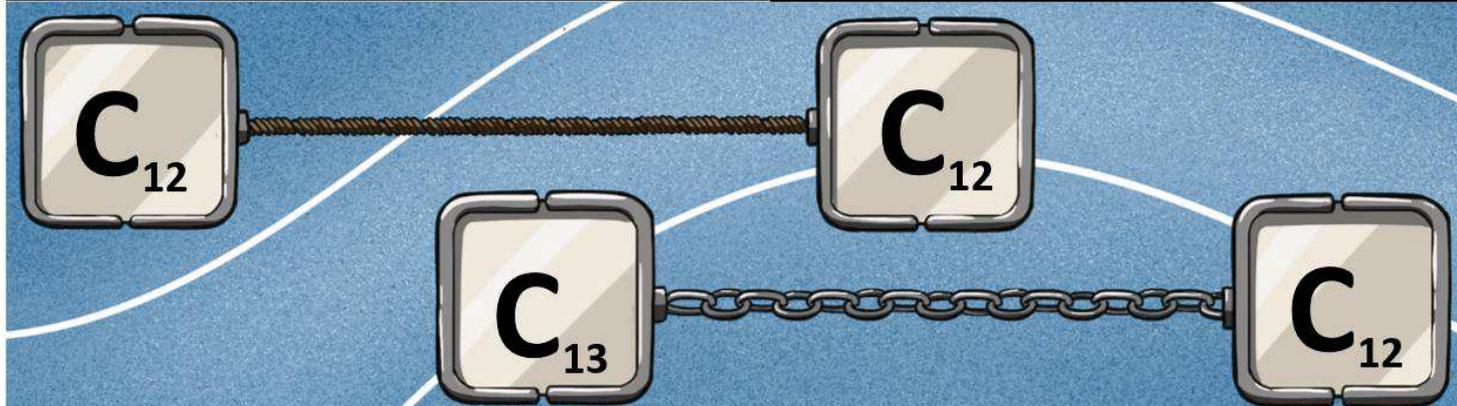
2.1 Le projet DECISIVE, financé par l'Agence Nationale pour la Recherche, a développé une approche innovante pour démontrer l'existence de la dégradation des pesticides dans les sols. Cette approche se base sur les isotopes stables présents dans les pesticides et on va vous raconter ici comment ça marche.



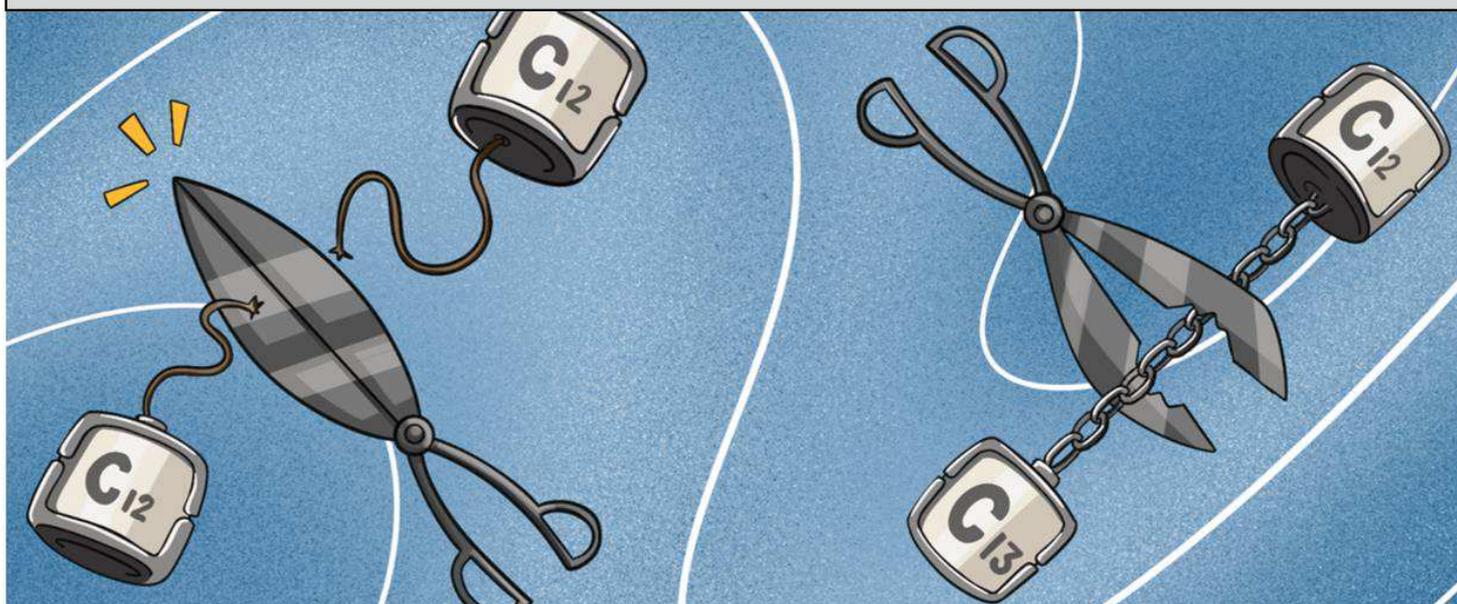
2.3 La plupart de ces éléments sont présents en nature en minimum en deux formes stables, appelés isotopes stables, ayant une masse différente. Mais contrairement à une idée reçue, ils ne sont pas radioactifs et donc naturels et non nocifs.



2.4 Pour le carbone par exemple, on peut donc observer un isotope léger avec la masse atomique de 12 très abondant sur Terre (99%), et un isotope plus lourd avec la masse atomique de 13, minoritaire (1%).

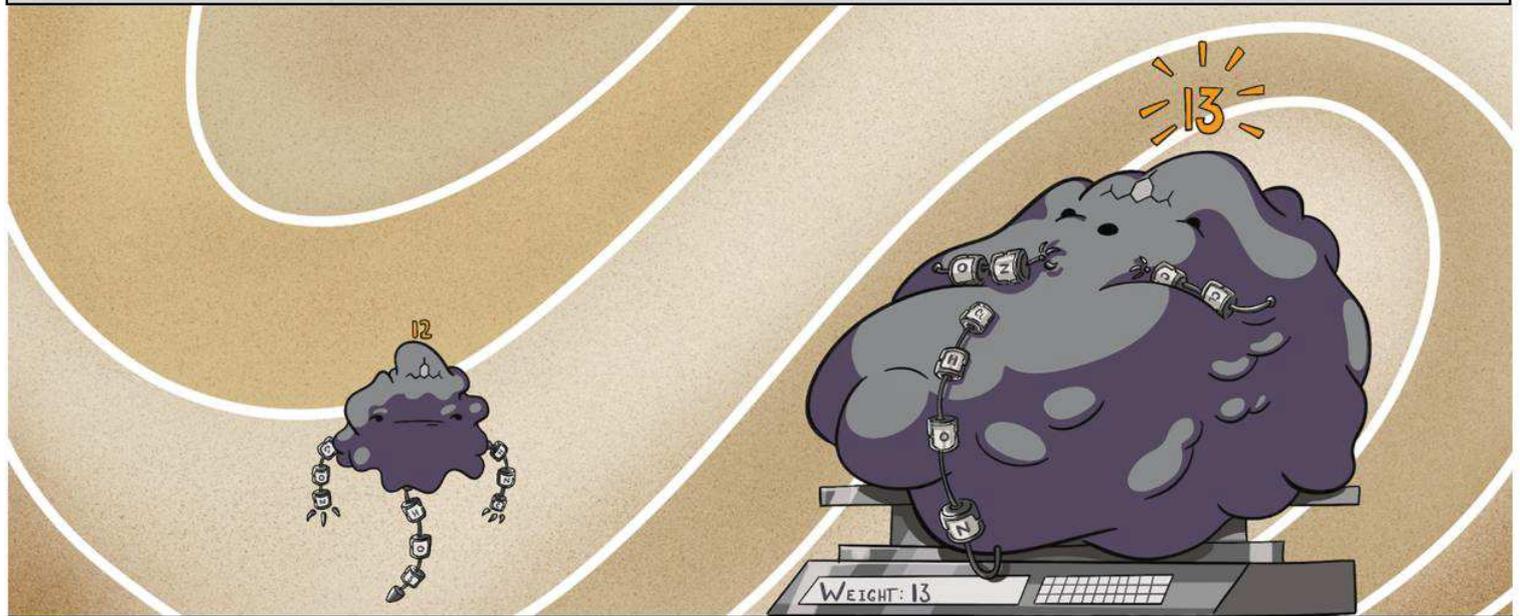


2.5 Les liaisons chimiques dans une molécule sont généralement un peu plus stables quand un isotope lourd fait partie de la liaison.

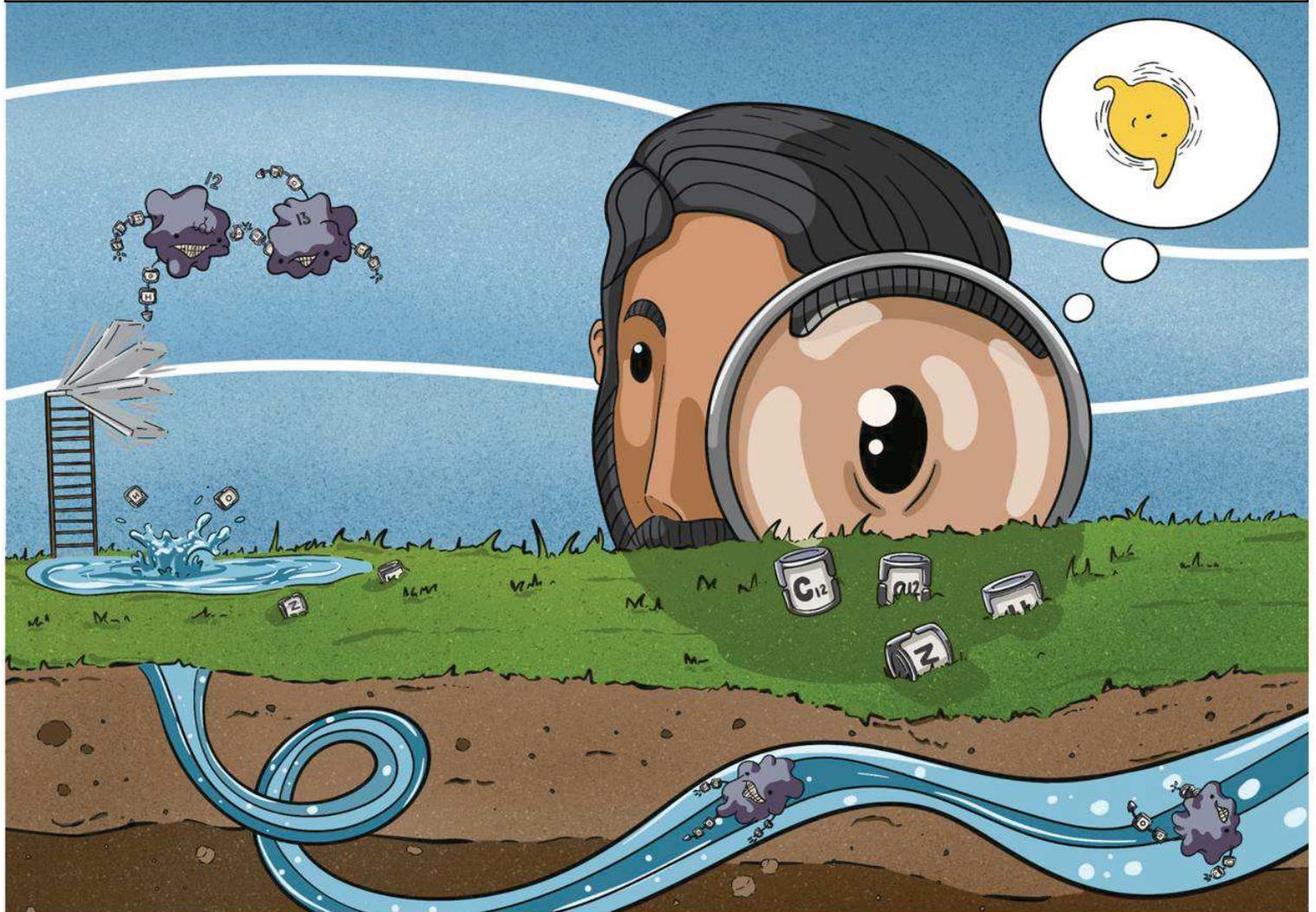


2.6 Les processus de dégradation causent des ruptures de liaisons chimiques, et en conséquence les pesticides sans isotope lourd (avec liaisons plus fragiles) se dégradent un tout petit peu plus vite que les pesticides avec isotope lourd (avec liaisons plus stables).

2.7 On observe alors que les pesticides qui ne sont pas encore dégradés dans un sol deviennent un tout petit peu plus « lourds » avec le temps. On appelle cela un enrichissement isotopique. Cet enrichissement peut être détecté par un spectromètre de masse isotopique, un appareil très précis qui compte chaque isotope.

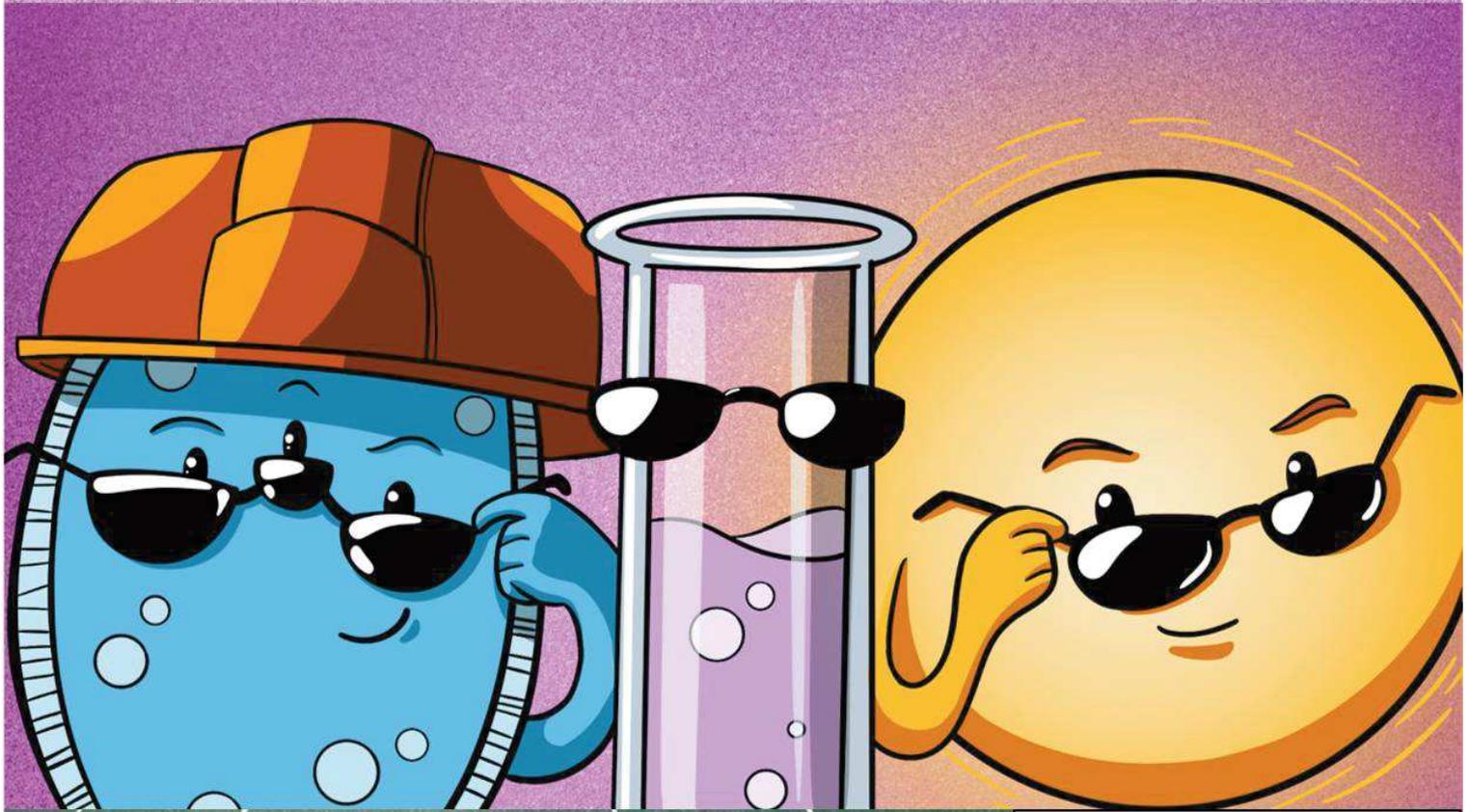


2.8 La volatilisation de pesticides et leur transfert vers les eaux n'est pas accompagné d'un enrichissement isotopique.



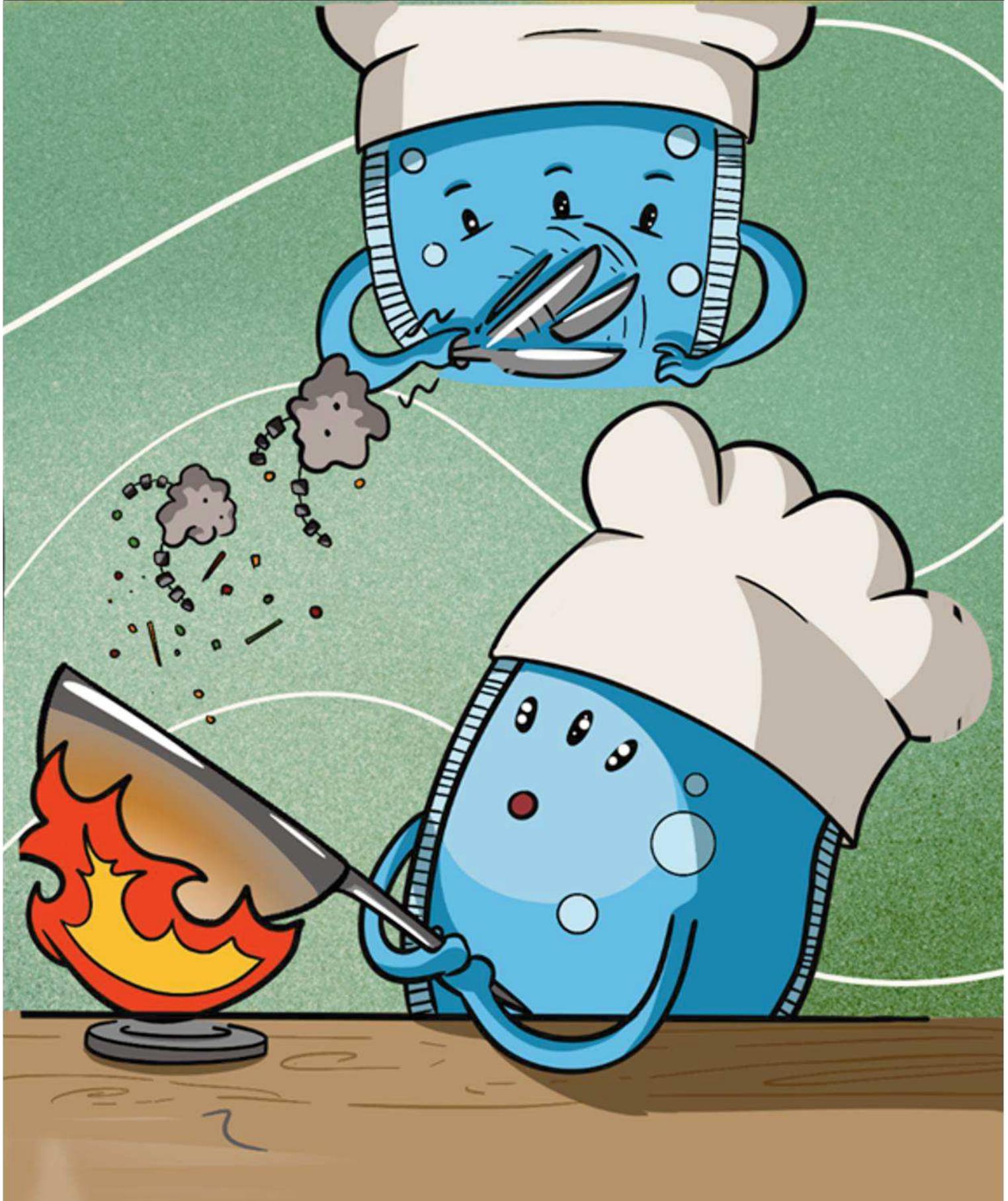
2.9 Si un enrichissement isotopique est mesuré dans un sol, on apporte alors une preuve de dégradation. Nous allons maintenant vous en dire un peu plus sur les différents types de dégradation.

3.1 Dans un champ, trois types de dégradation peuvent être actives : la biodégradation, la dégradation chimique, et la photodégradation. Il est important de différencier ces processus car les voies de transformation et donc les produits de transformation générés sont souvent différents.

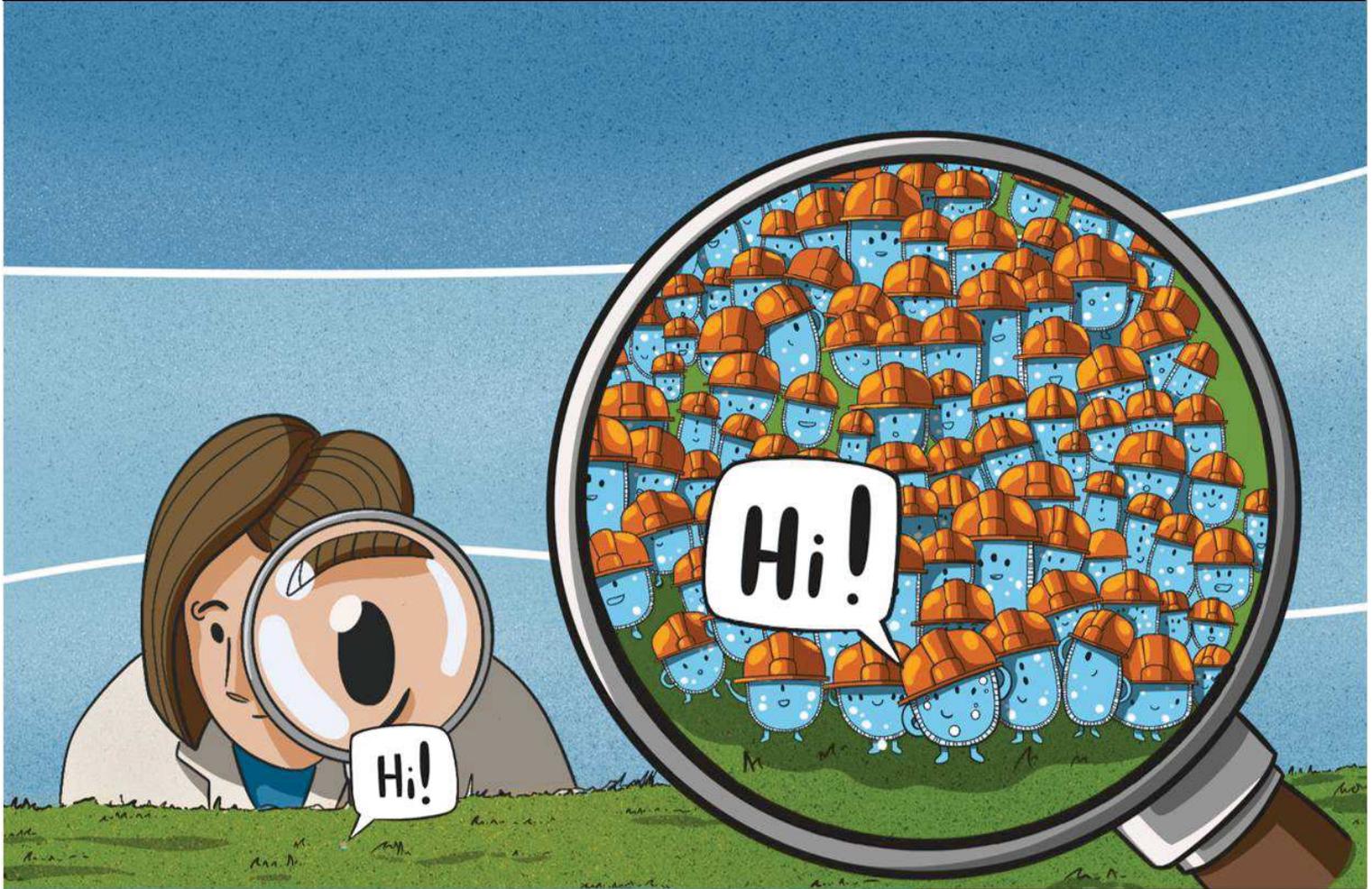


3.2 La biodégradation se fait majoritairement par des bactéries soit selon la voie co-métabolique soit par la voie métabolique, le pesticide étant alors utilisé comme source d'énergie et/ou source d'éléments nutritif comme l'azote, et soufre et le phosphore.

3.3 Pour cela, les bactéries doivent s'adapter en recrutant des gènes qui codent des enzymes. Ce sont des protéines qui catalysent les étapes de la dégradation. Comme les pesticides sont des substances non-naturelles, le processus d'adaptation est parfois très long pour conduire à la mise en place de biodégradation.



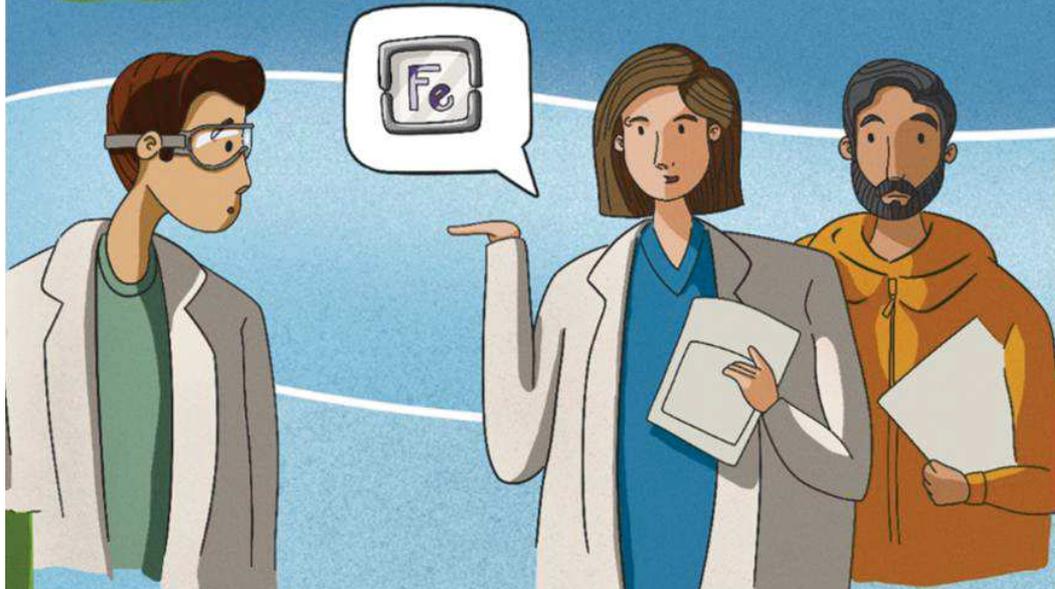
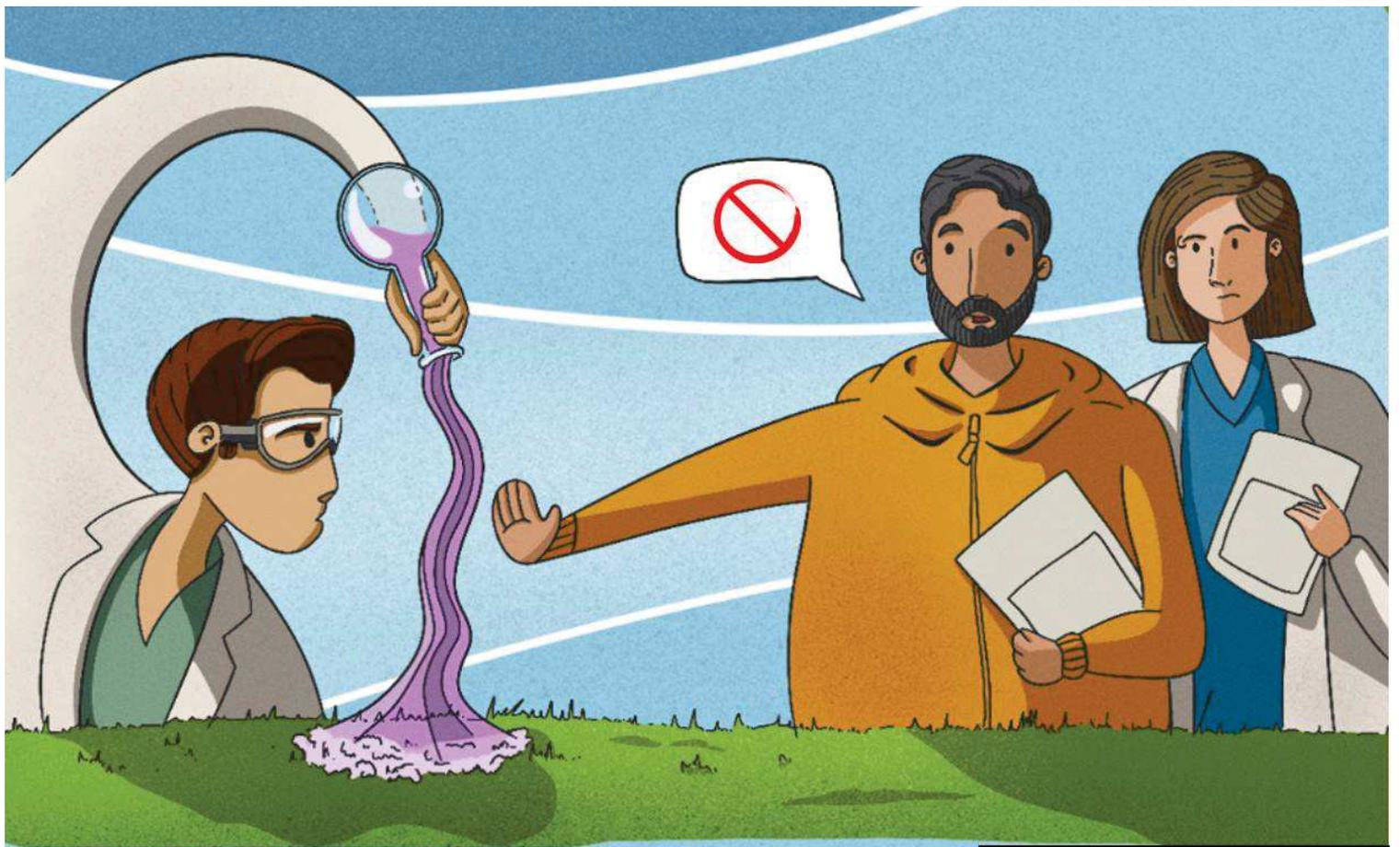
3.4 Un gramme de sol peut héberger des milliards de bactéries, et on ignore le nombre d'espèces différentes qu'on peut y trouver. La plupart des bactéries sont impactés par la présence de pesticides. Cependant, il y a toutes les chances que parmi elles une population de bactéries puisse acquérir les moyens de consommer les pesticides comme une source nutritive pour sa croissance.



3.5 Si tout va bien, la biodégradation bactérienne peut se produire et les pesticides restants dans le sol vont devenir enrichis en isotopes lourds. On pourra observer ceci même pour plusieurs éléments différents dans la molécule (par exemple carbone (^{13}C v.s ^{12}C) et azote (^{15}N v.s ^{14}N). On appelle cela un enrichissement isotopique multi-élémentaire.

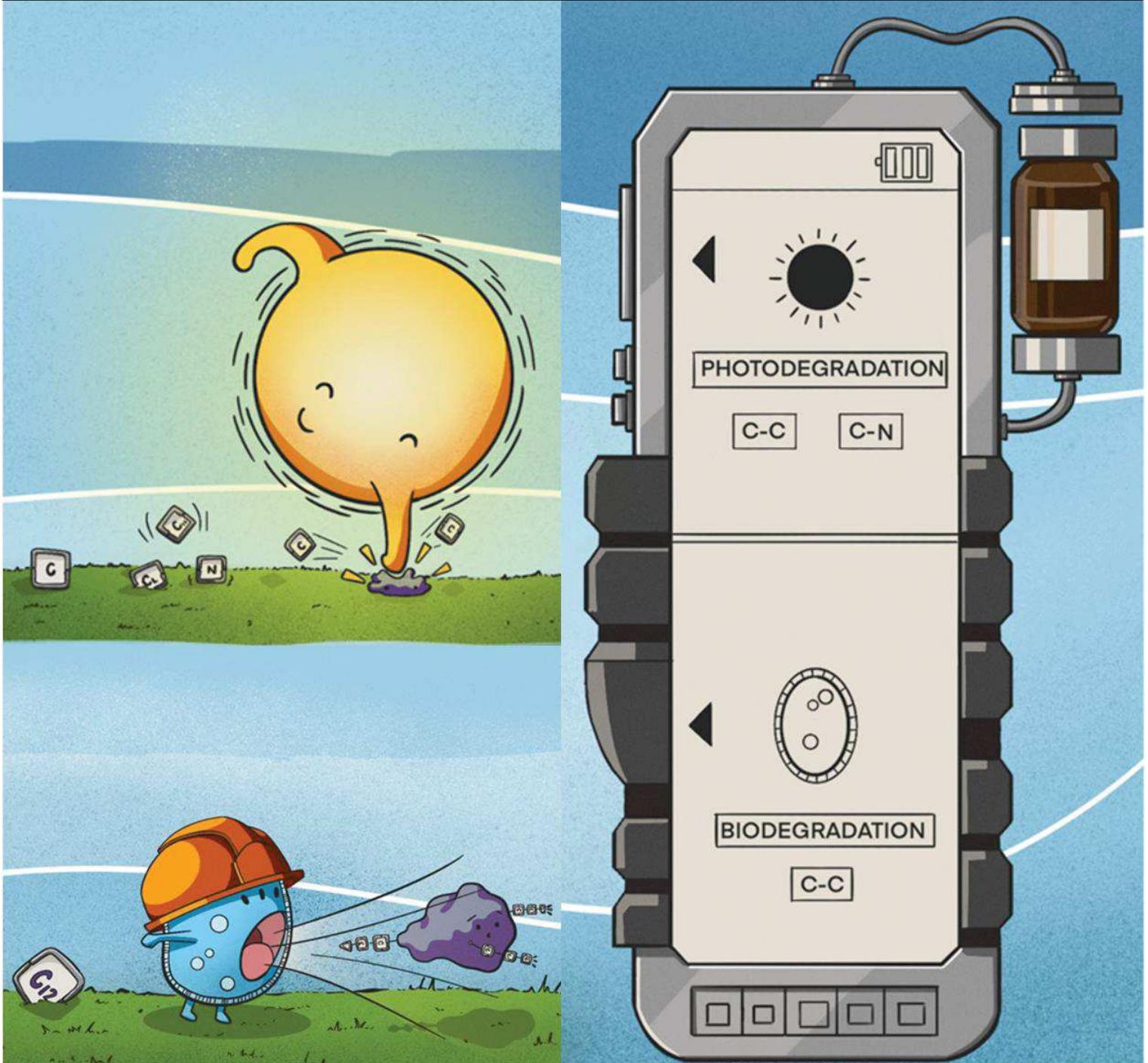
3.6 Mais parfois les bactéries ne peuvent pas s'adapter à la biodégradation accélérée et créer des enzymes pour dégrader les pesticides. Cela a été observé pour certains pesticides ayant des atomes de chlore dans leur molécule, comme par exemple la chlordécone largement utilisée comme insecticide dans les bananeraies. Les pesticides persistent alors et il n'y a pas d'enrichissement isotopique lié à la biodégradation.





3.7 Pour les pesticides non biodégradables, la dégradation chimique abiotique pourrait être le processus de dégradation majoritaire dans un sol. Par exemple, des minéraux de fer du sol peuvent réagir avec les pesticides chlorés, ceci peut enlever les atomes de chlore de la molécule.

3.8 Les dégradations abiotiques peuvent induire des enrichissements différents par rapport à la biodégradation dans les pesticides restants. Par exemple, un enrichissement de carbone peut être créé, tandis que l'enrichissement pour l'azote pourrait être nul.

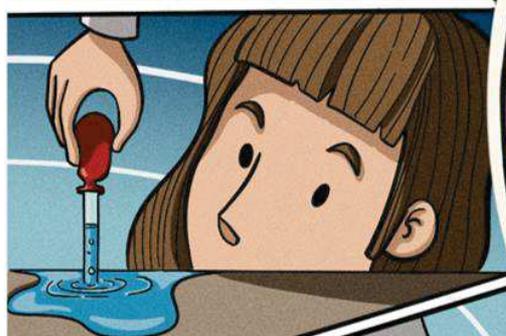


3.9 Si cela est le cas, on peut donc utiliser l'outil isotopique pour distinguer entre une biodégradation et une dégradation abiotique. Ou encore entre ces deux processus et la photodégradation, grâce à un enrichissement encore différent. On peut donc ensuite orienter les recherches des produits de transformation en conséquence et mieux les suivre.

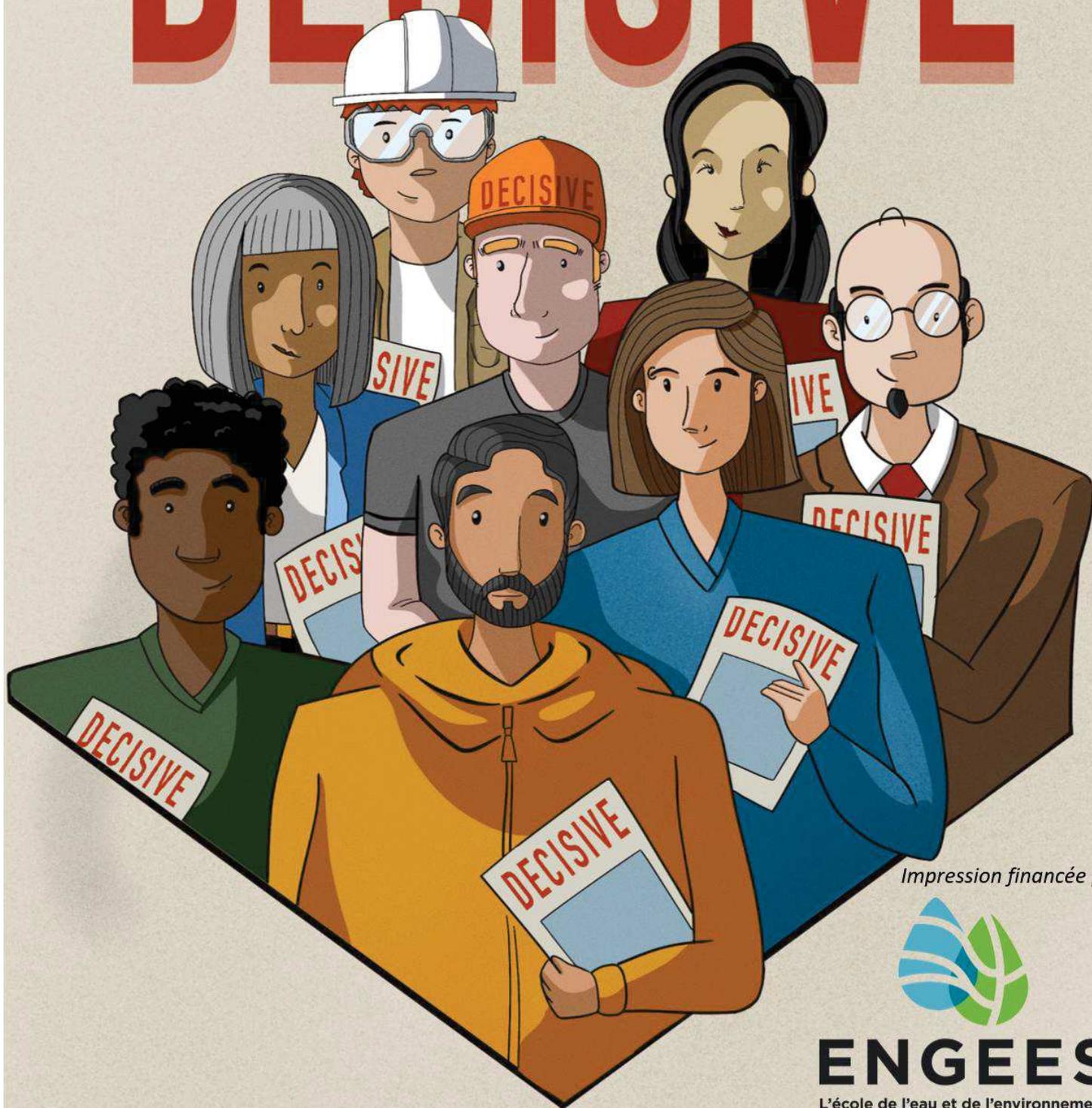
3.10 Les chercheurs du projet DECISIVE ont créé une banque de données internationale qui référence et diffuse plus de 650 compositions isotopiques de formulations de pesticides appliqués ainsi que les enrichissements isotopiques associés à chaque processus de dégradation.



3.11 De plus, ils ont élaboré un guide qui explique comment on doit prélever, analyser et interpréter les mesures isotopiques des pesticides dans les sols.



DECISIVE



Impression financée par:



ENGEES

L'école de l'eau et de l'environnement

3.12 Grâce à ce projet, on peut maintenant mieux comprendre le devenir des pesticides dans les sols.