

LES GUIDES MANGAS



# BIOLOGIE MOLÉCULAIRE



Auteur  
Dessins  
Scénario  
Studio

MASAHARU TAKEMURA  
SAKURA  
MASAYOSHI MAEDA  
BECOM

Traduction

JEAN-YVES FÉVRIER

agrégé



# Avant-propos

La biologie moléculaire étudie les molécules à la base de la vie (ADN, ARN, protéines...) et leurs interactions au sein des organismes vivants. Cette discipline utilise la physique, la chimie et la biologie, et améliore les connaissances en médecine, agriculture et ingénierie.

Les chercheurs en biologie moléculaire, dont je fais partie, effectuent de nombreuses expériences dans les instituts de recherche, les universités mais aussi les entreprises. Une grande partie de notre travail consiste à proposer des modèles, émettre des hypothèses puis à les vérifier par l'expérimentation. Comme nous ne voyons ni les molécules ni les cellules que nous étudions, les connaissances accumulées dans le champ de la biologie moléculaire viennent pour l'essentiel de données expérimentales.

La discipline a beaucoup progressé depuis quelques dizaines d'années. Elle a d'ailleurs permis des avancées spectaculaires dans la médecine clinique. Pour autant, chaque progrès apporte de nouvelles questions et il y a encore beaucoup de choses que nous ne comprenons pas.

Un chercheur a toujours envie de partager sa passion pour la discipline qu'il étudie. Hélas, faire découvrir le monde de la biologie moléculaire à des non-spécialistes est difficile. C'est frustrant pour mes collègues et moi, car cette discipline passionnante mérite d'être connue ! Elle couvre de vastes pans des sciences de la vie : les gènes, les maladies génétiques, les cancers, le clonage, les thérapies géniques révolutionnaires...

Le *Guide manga de la biologie moléculaire* a pour objet de faire découvrir cette discipline à des non-spécialistes. Les deux héroïnes, Rin et Ami, doivent suivre un cours de rattrapage en biologie moléculaire. Elles iront sur l'île privée du Dr Moro, leur enseignant, et seront guidées par son assistant Marcus qui leur fera découvrir molécules et cellules grâce à une machine de réalité virtuelle.

Tous les concepts de biologie moléculaire présentés sont exacts, mais simplifiés. Le guide vous apprend le vocabulaire et les concepts de base. Si, comme je l'espère, il vous donne envie d'en savoir plus, vous serez armé pour aborder des ouvrages plus techniques.

Pour conclure, je souhaite remercier toute l'équipe d'Ohmsha, M. Masayoshi Maeda pour son excellent scénario, M. Sakura pour ses admirables représentations en BD du monde complexe des molécules, sans oublier l'ensemble des lecteurs qui m'ont fait confiance.

Masaharu Takemura

# Table des matières

	Prologue	L'examen de rattrapage	7
---	----------	------------------------	---

	Chapitre 1	Qu'est-ce qu'une cellule ?	21
---	------------	----------------------------	----

1. Une cellule est une petite bulle de vie	22
Chaque organisme vivant est constitué de cellules	23
Les cellules sont vivantes	26
Une cellule est faite de molécules variées	29
Je n'ai jamais vu de cellule !	30
La plus grande cellule du corps	30
2. Allons voir l'intérieur d'une cellule	31
Pénétrons dans la membrane plasmique	33
Cytoplasme et organites de la cellule	37
3. Le noyau : un petit cerveau	41
Qu'y a-t-il dans le noyau ?	43
4. Organismes uni- et multi-cellulaires	54
5. Organismes eucaryotes et procaryotes	57

	Chapitre 2	Protéines et ADN : déchiffrons le code génétique	59
---	------------	--	----

1. Les protéines gèrent l'activité cellulaire	65
C'est quoi, l'activité cellulaire ?	65
Les enzymes, des protéines puissantes !	67
Les protéines enzymatiques	75
Le rôle des protéines dans la division cellulaire	76
La contraction musculaire utilise des protéines	77
Résumé	78
2. Les protéines sont faites d'acides aminés	80
3. Acide aminé modifié, protéine bouleversée	82
Gène : plan de construction d'une protéine	83
Comment la cellule sait-elle quelle protéine créer ?	83

Le plan indique l'ordre d'assemblage des acides aminés	84
Les gènes sont codés	85
<b>4. ADN et nucléotides</b>	<b>87</b>
La « structure en double hélice » de l'ADN	87
L'ADN est fait de nucléotides	88
Les nucléotides sont l'alphabet du code génétique	90
<b>5. Le génome et les gènes</b>	<b>94</b>
Chromosomes, gènes et reproduction	95
Comment visualiser la taille du génome ?	96

	<b>Chapitre 3</b>	<b>Réplication de l'ADN et division cellulaire</b>	<b>97</b>
---	-------------------	--	-----------

<b>1. Les cellules se multiplient par division</b>	<b>98</b>
Reproduction : une activité vitale !	98
Division cellulaire : la reproduction facile	103
La division cellulaire chez les organismes multicellulaires	106
<b>2. L'ADN est répliqué avant la division cellulaire</b>	<b>111</b>
Qu'arrive-t-il aux gènes ?	111
La structure double de l'ADN	112
L'ADN polymérase pendant la réplication	114
Qu'est-ce qu'un chromosome ?	128
Les cellules humaines comportent 46 chromosomes	129
Les chromosomes ne sont visibles que le temps de la division cellulaire	129
<b>3. La division cellulaire</b>	<b>129</b>
La mitose	129
La cytokinèse	133
<b>4. Le cycle cellulaire</b>	<b>134</b>
<b>5. Division cellulaire et cancer</b>	<b>136</b>

	<b>Chapitre 4</b>	<b>Comment est fabriquée une protéine ?</b>	<b>137</b>
---	-------------------	---	------------

<b>1. Un gène utile est un gène transcrit</b>	<b>138</b>
Comment faire une protéine	138
La transcription	144
<b>2. Chromatine et transcription</b>	<b>150</b>
Désentortillons le fil du téléphone	150
Un des brins du ruban d'ADN sert de moule pour la synthèse d'ARN	152
L'ARN polymérase copie l'information génétique	154
Élagage de l'ARNm transcrit	159



L'épissage alternatif	161
Le brassage des exons	161
3. L'ARN en détail	162
Caractéristiques de l'ARN	162
L'ADN et l'ARN contiennent des sucres différents	165
L'ARN est flexible	167
Il y a de nombreux types d'ARN	168
4. L'ARN de transfert ou ARNt	171
Le ribosome, l'outil de synthèse protéique	171
Fonctionnement du code génétique	173
ARNt ou ARN de transfert	176
La protéine est complète	180



## Chapitre 5

## Technologies génétiques et recherche

181

1. L'ADN recombinant	182
Manipulation de l'ADN	187
Amélioration des produits agricoles par l'ADN recombinant	189
La technique de recombinaison génétique	193
Étape 1 : le gène cible est amplifié (multiplié)	193
Étape 2 : recombinaison génétique (couper/coller)	194
Étape 3 : transduction et clonage	195
2. Détecter et isoler l'ADN	197
3. Animaux transgéniques	198
Souris KO ( <i>knockout</i> )	199
4. Médecine personnalisée et thérapie génique : le futur de la prévention ?	202
Thérapie génique	204
5. La renaissance de l'ARN	207
L'interférence par ARN : l'ARN modifie l'expression des gènes	207
Les micro-ARN (miARN)	208
Vers un ARN thérapeutique ?	209
6. Comment fonctionne la PCR ?	209
7. Comment produire des animaux clonés	211
8. Les gènes racontent l'évolution	214
9. L'avenir de la biologie moléculaire	215



## Épilogue

216

Index	225
-------	-----

PROLOGUE

KAZUO KOIKE

PRÉSENT !

AMI KASUGA

RIN NATSUKAWA

...

...

しーん...

MINCE,  
ENCORE  
ELLES...

JE SAIS QU'ELLES  
ONT DES  
PROBLÈMES...

MAIS JE NE  
PEUX PAS LES  
AIDER SI ELLES  
LOUPENT MES  
COURS.

\* CARNET D'APPEL

IMPOSSIBLE DE  
LES ATTENDRE PLUS  
LONGTEMPS...

...JE DOIS  
COMMENCER  
LE COURS.

BIEN !

AUJOUR'HUI,  
JE VOUS  
PARLERAI DES  
MODIFICATIONS  
GÉNÉTIQUES.





...

OH, JE SUIS NERVEUSE.

VOILÀ, C'EST LE LABORATOIRE OÙ NOUS DEVONS ALLER.

PROFESSEUR MORO  
BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

CLIC  
CLAC

CLIC  
CLAC

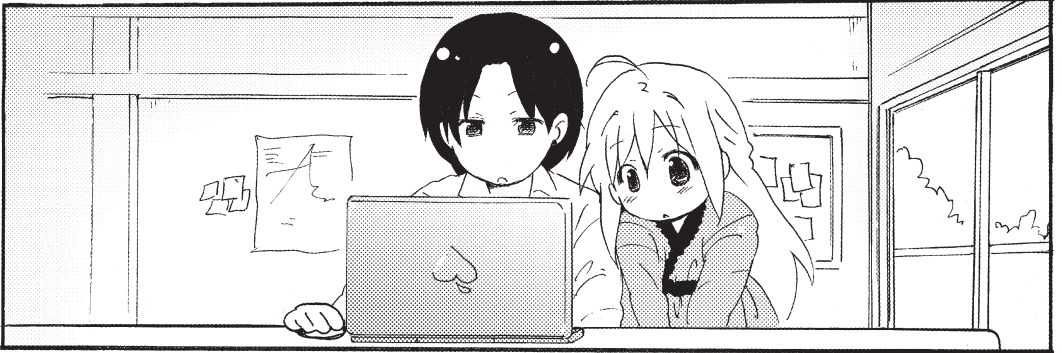
QUELQUES HEURES  
PLUS TÔT...

RIN NATSUKAWA,

VOUS CUMULEZ TROP D'ABSENCES  
POUR PASSER L'EXAMEN DE  
BIOLOGIE MOLÉCULAIRE.

PRÉSENTEZ-VOUS DÈS QUE POSSIBLE À MON LABORATOIRE  
POUR CONNAÎTRE LES MODALITÉS DU COURS DE RATTRAPAGE.

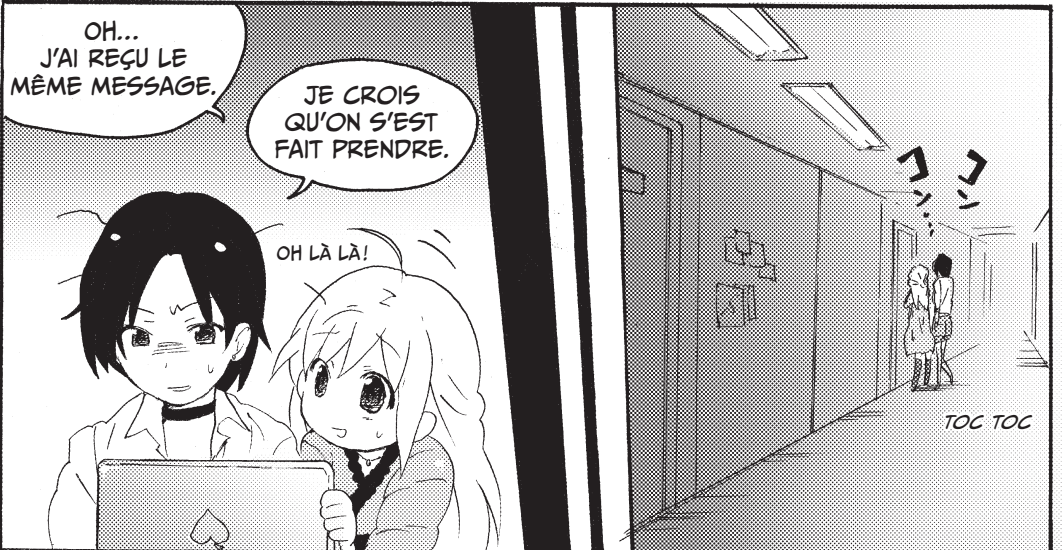
PROFESSEUR MORO



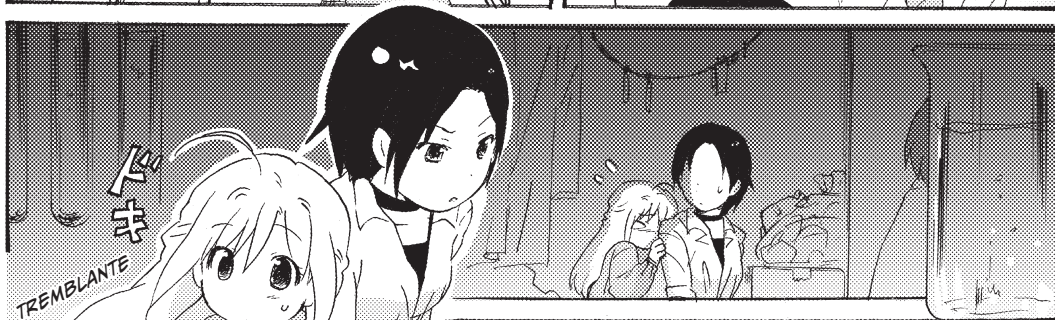
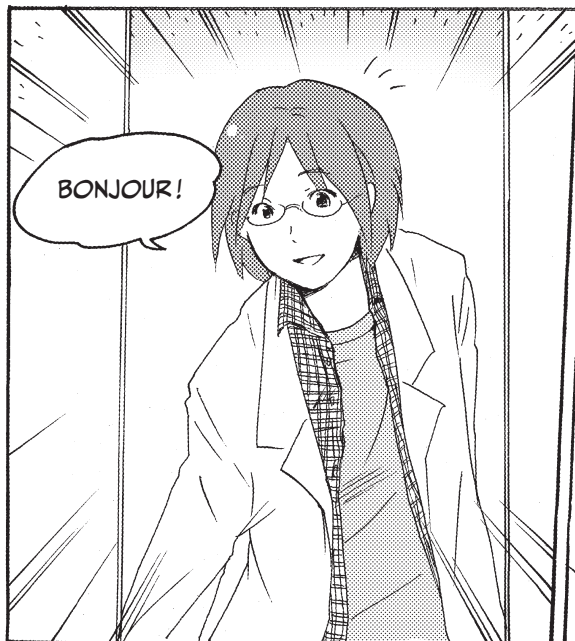
OH...  
J'AI REÇU LE  
MÊME MESSAGE.

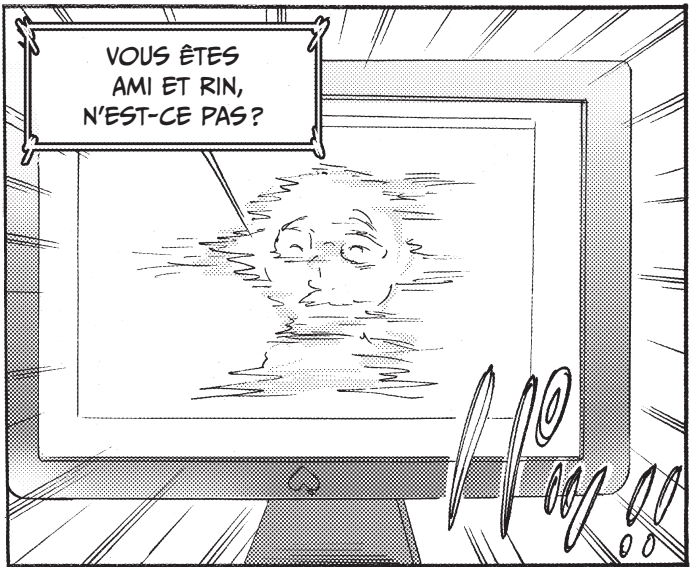
JE CROIS  
QU'ON S'EST  
FAIT PRENDRE.

OH LÀ LÀ!

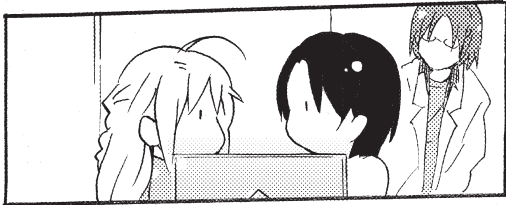
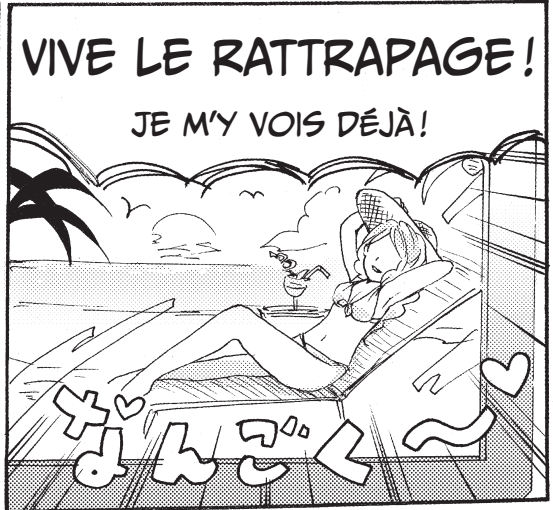
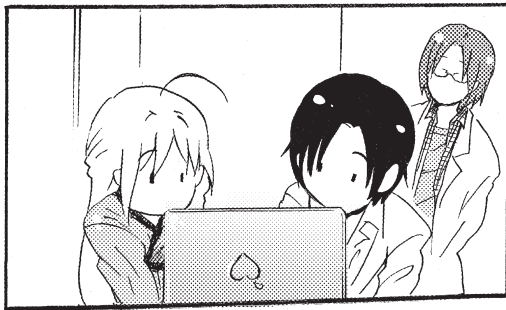




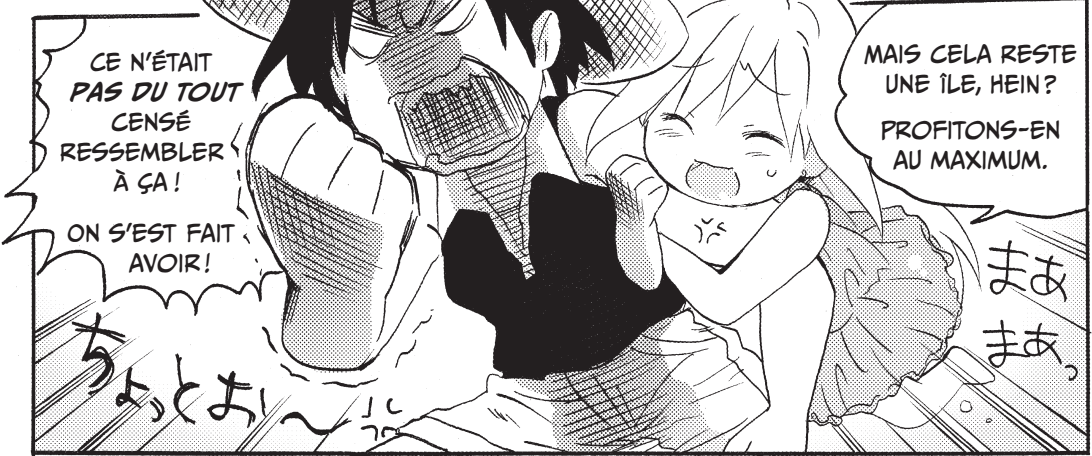
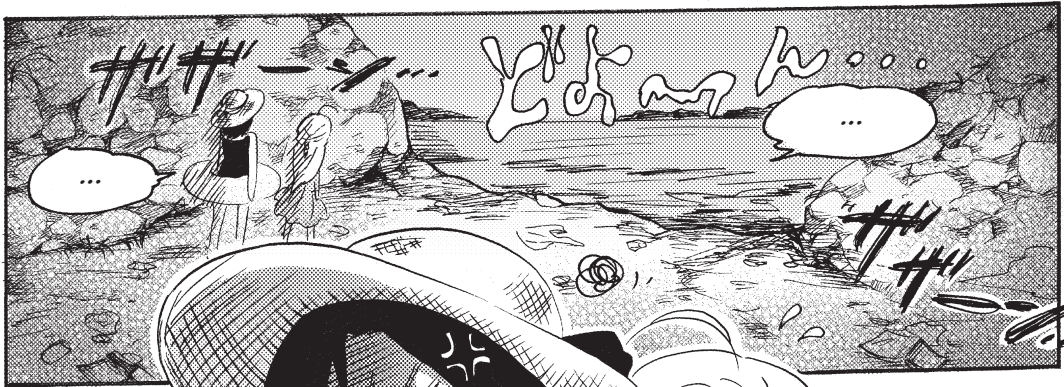


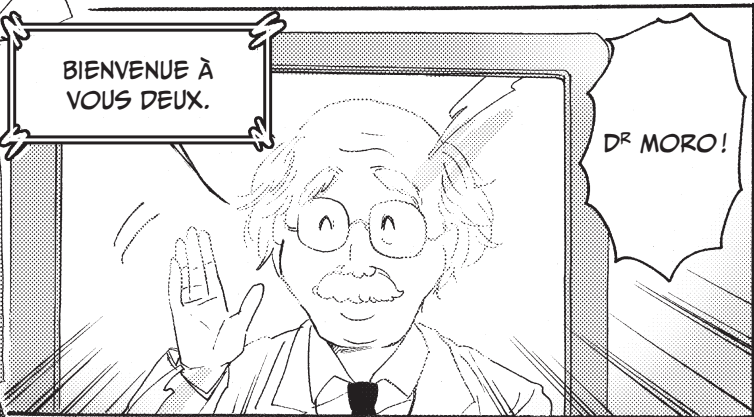
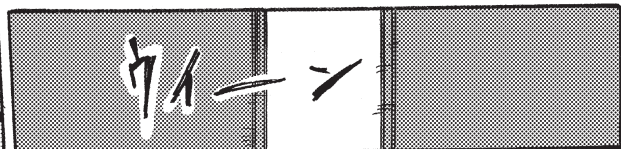
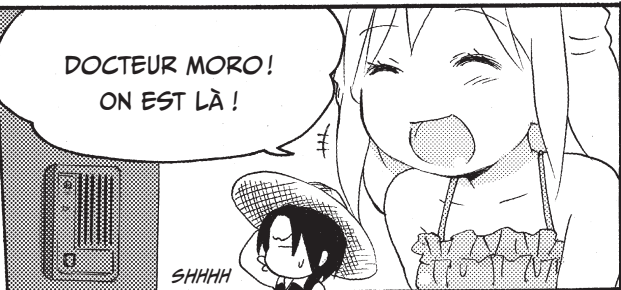
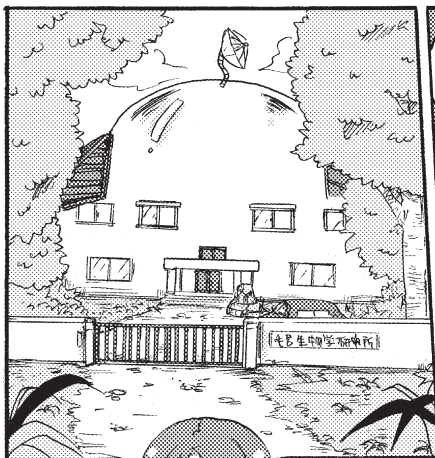




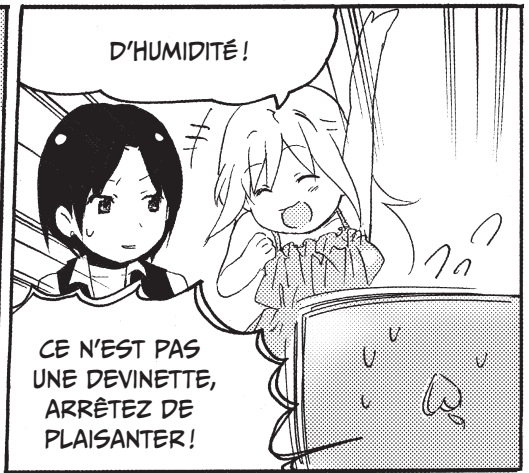
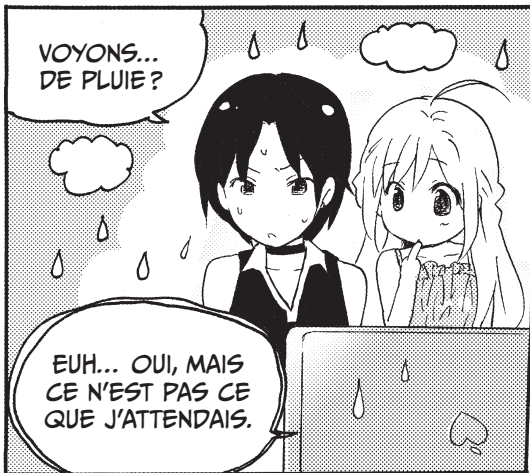
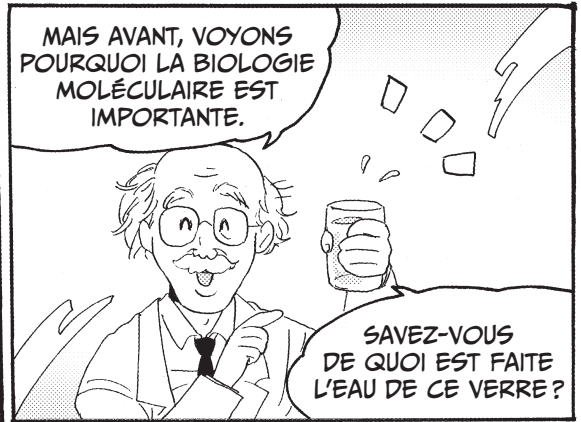
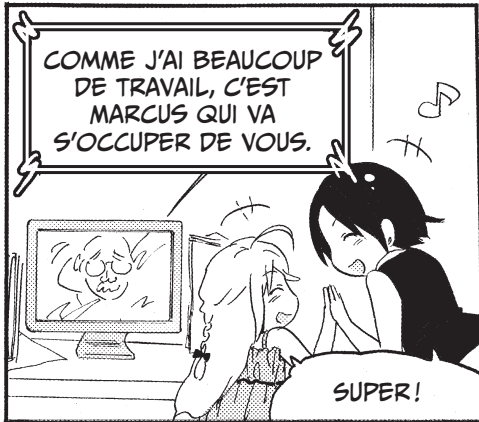


QUELQUES JOURS PLUS TARD...



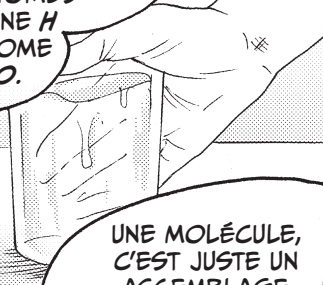






L'EAU CONTIENT DES MOLECULES NOTÉES  $H_2O$ .

ELLES SONT CONSTITUÉES DE DEUX ATOMES D'HYDROGÈNE H LIÉS À UN ATOME D'OXYGÈNE O.




UNE MOLECULE, C'EST JUSTE UN ASSEMBLAGE D'ATOMES.

TOUTE LA MATIÈRE ET LES ORGANISMES VIVANTS SONT FAITS DE MOLECULES.



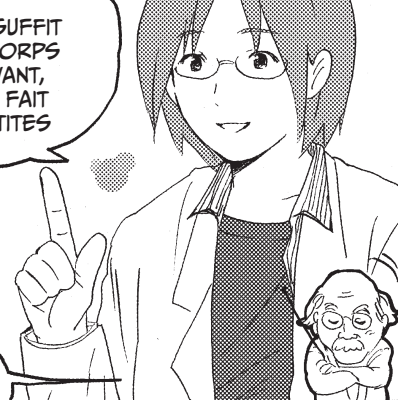
VOUS PARLEZ D'UN PETIT MONDE INVISIBLE. J'AI DU MAL À ME LE REPRÉSENTER.

TU AS RAISON.



VRAIMENT?

POUR LE MOMENT, IL SUFFIT D'IMAGINER QUE LE CORPS D'UN ORGANISME VIVANT, DONT LE VÔTRE, EST FAIT DE NOMBREUSES PETITES MOLECULES.



OUI, IMAGINEZ ÇA!

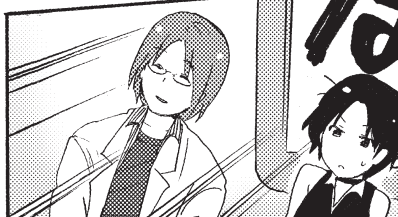
JE VAIS JUSTE CLARIFIER UN POINT...




VOUS ÊTES EN TRAIN D'ÉtudIER LA BIOLOGIE MOLECULAIRE...



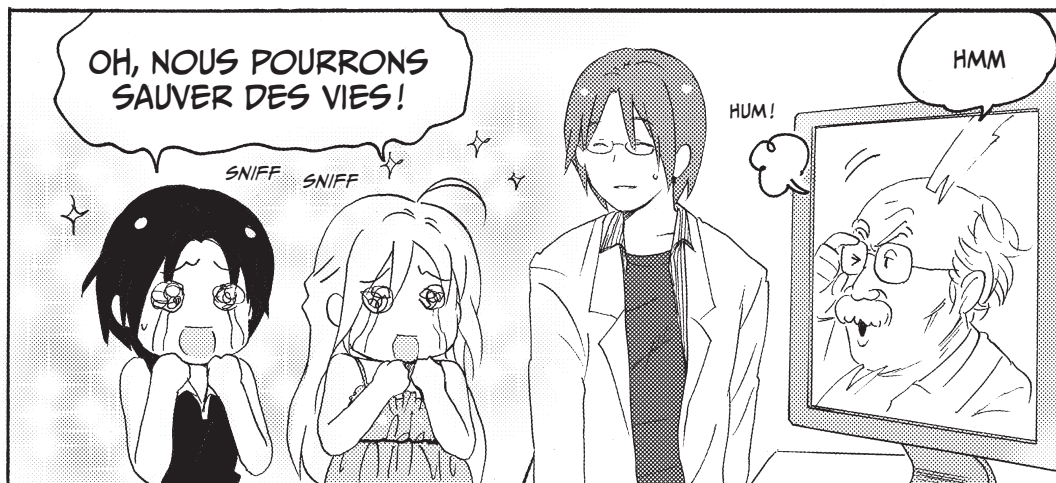
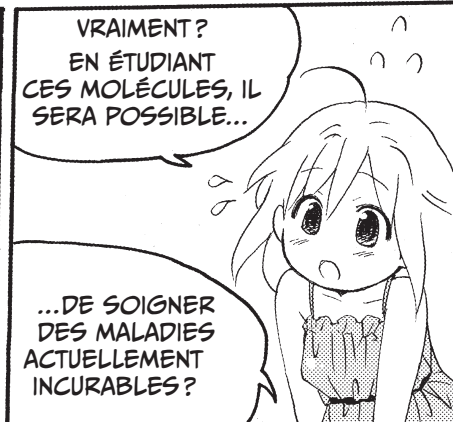
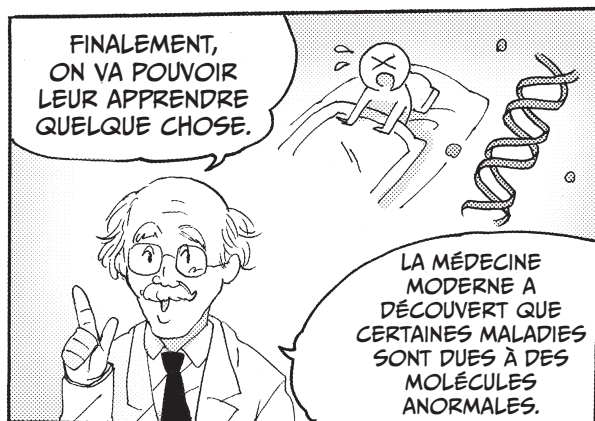
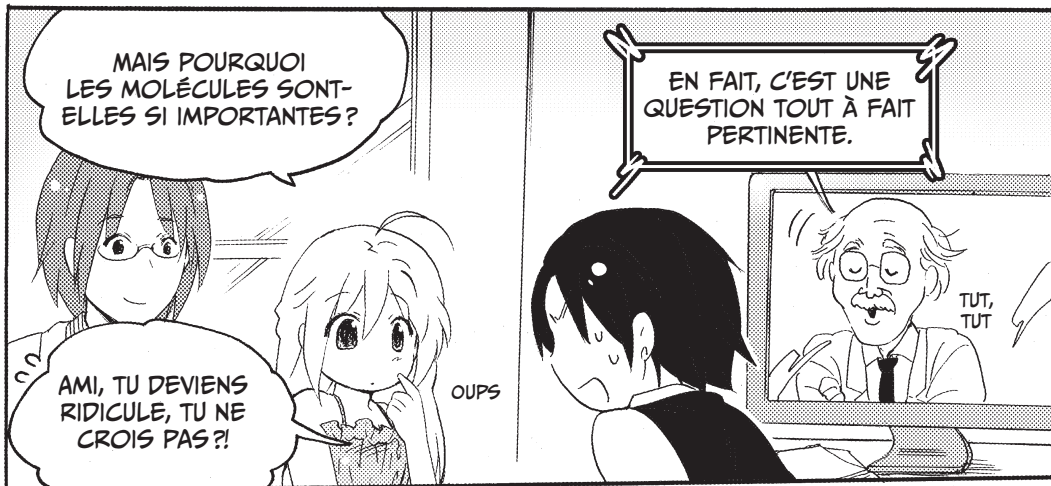
...UNE DISCIPLINE QUI EXPLIQUE LE FONCTIONNEMENT DES MOLECULES DANS LES CELLULES ET LE RÉSULTAT DE LEURS INTERACTIONS.



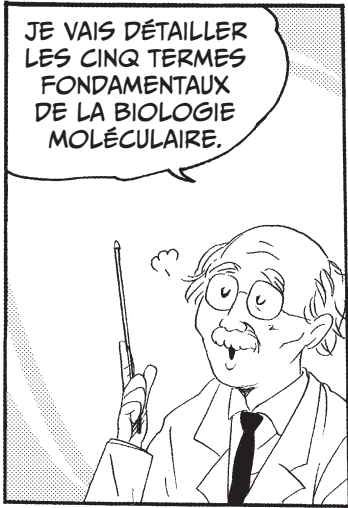
JE CROIS QUE J'AI PIGÉ!



おめでとう

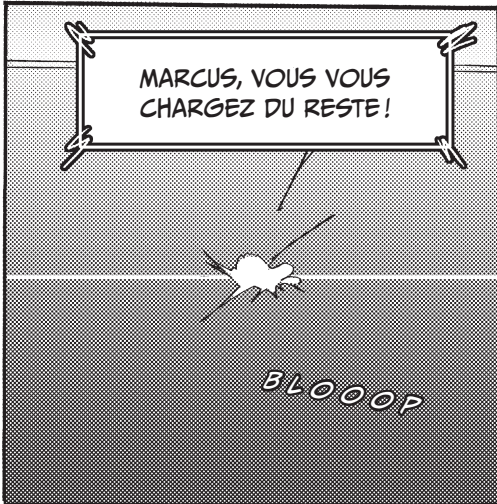
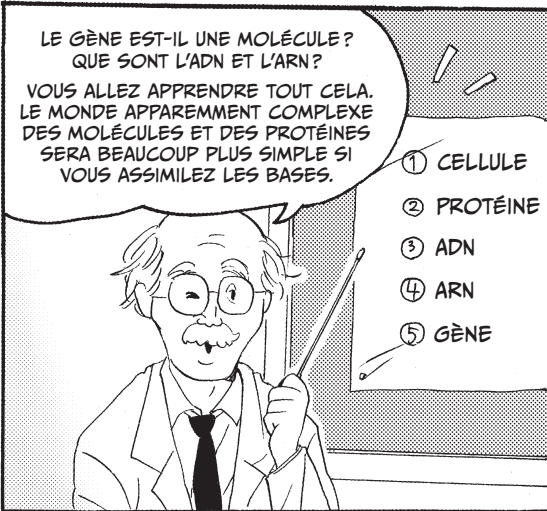
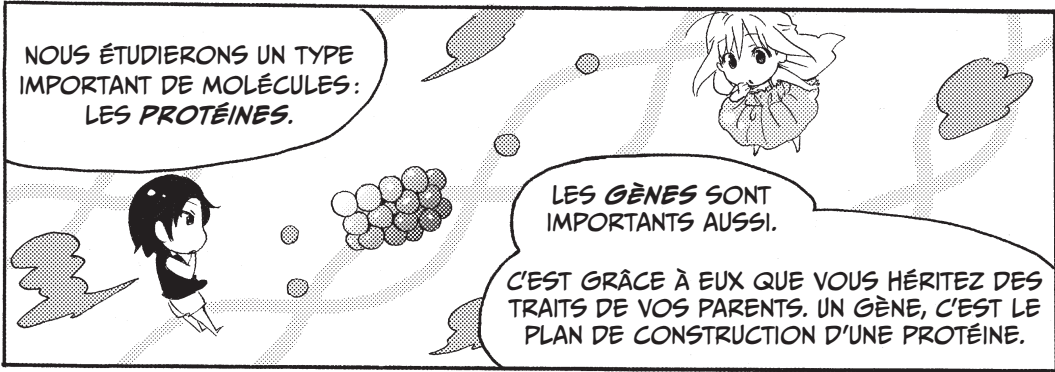



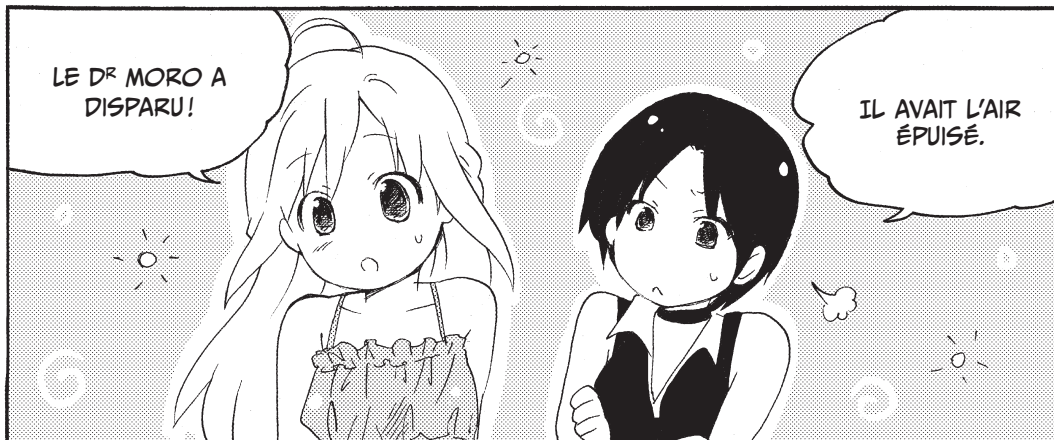




VOTRE PREMIÈRE  
LEÇON SERA DE  
LES RETENIR.

- ① CELLULE
- ② PROTÉINE
- ③ ADN
- ④ ARN
- ⑤ GÈNE





LE DR MORO A  
DISPARU!

IL AVAIT L'AIR  
ÉPUISE.



JE NE SAIS PAS TROP  
CE QU'EST UNE  
PROTÉINE. QUANT À  
L'ADN ET L'ARN...

ATTENDS!  
TU N'AS PAS BESOIN  
DE TOUT COMPRENDRE  
MAINTENANT.



CONCENTRE-TOI JUSTE  
QUAND TU ENTENDRAS  
CES MOTS-CLÉS.

SANS TE RELÂCHER LE RESTE DU  
TEMPS...

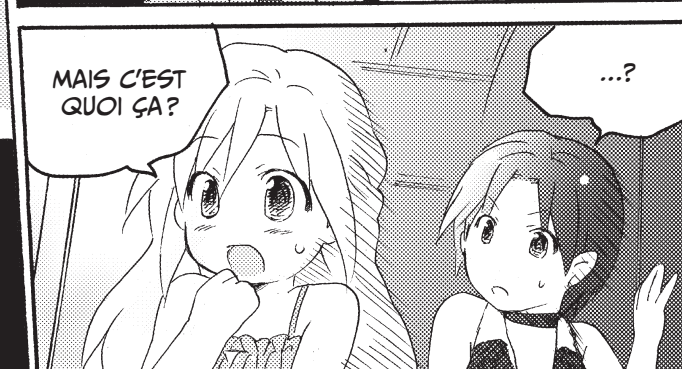
OK!



ALLONS DANS LA  
SALLE DE CLASSE.



ATTENTION...



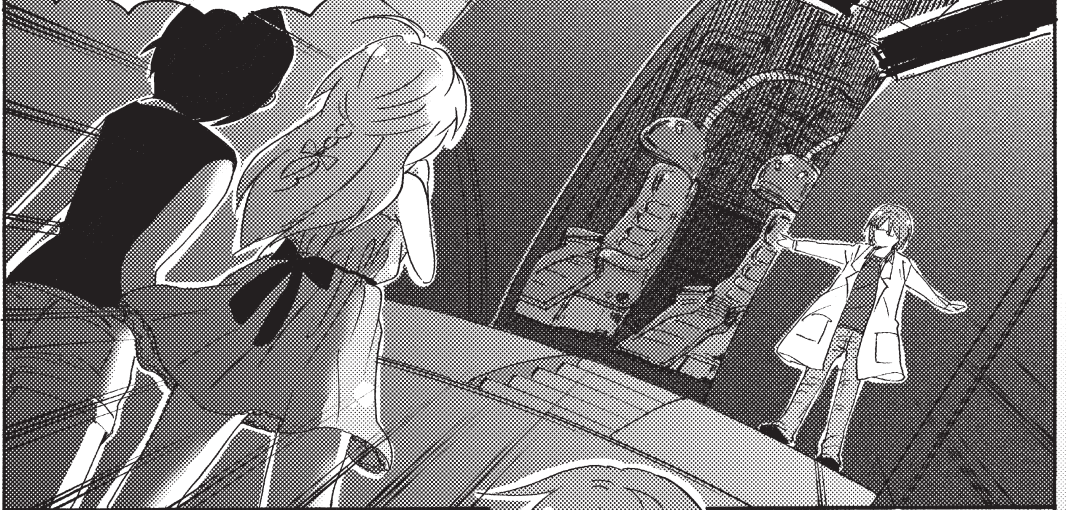
MAIS C'EST  
QUOI ÇA?

...?



C'EST LA  
**DREAM MACHINE™**

CRÉÉE PAR LE  
DR MORO.



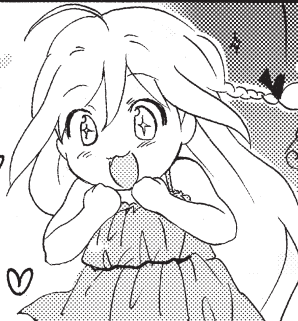
C'EST UNE MACHINE DE RÉALITÉ  
VIRTUELLE AUGMENTÉE QUI  
VOUS IMMERGE DANS LE MONDE  
MICROSCOPIQUE DE LA BIOLOGIE  
MOLÉCULAIRE.

VOUS UTILISEREZ LA  
**DREAM MACHINE™**  
DÈS AUJOURD'HUI POUR  
EXPLORER  
L'UNIVERS  
HALLUCINANT DE  
LA BIOLOGIE  
MOLÉCULAIRE.



OH MON DIEU!

TOUT ÇA EST  
TELLEMENT  
EXCITANT!



Ouais...  
JE TE LAISSE COMMENCER.



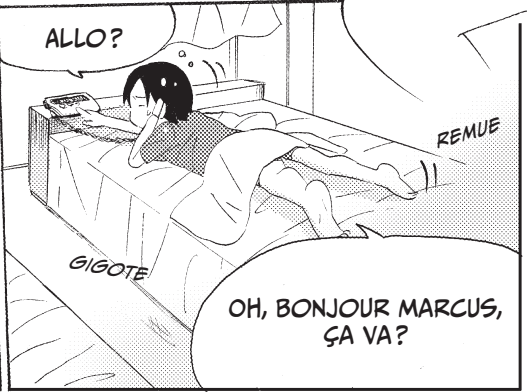
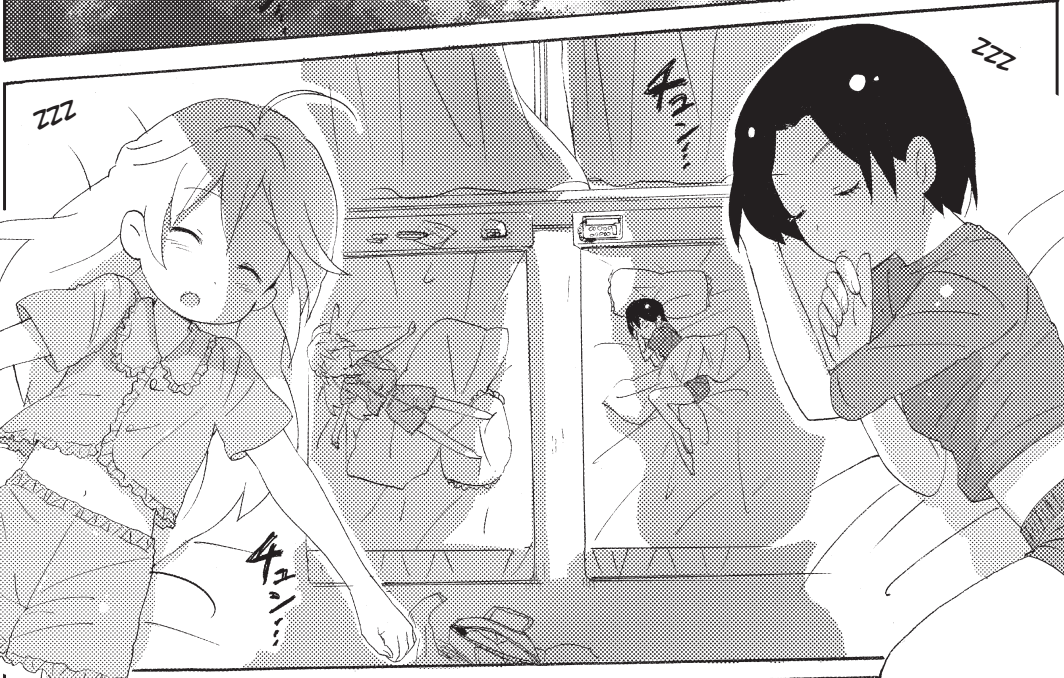
2

# Protéines et ADN

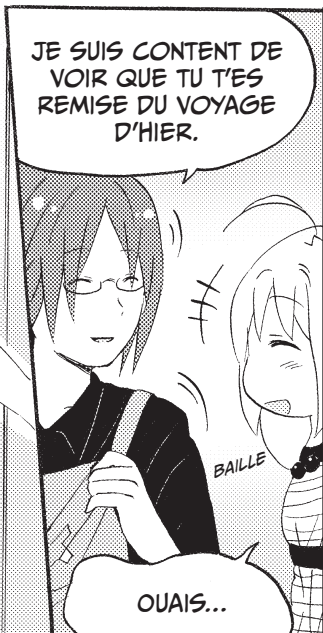
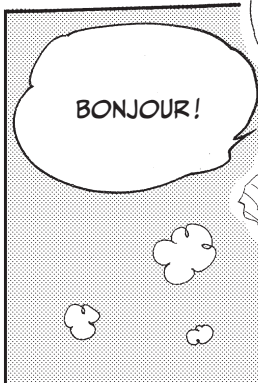
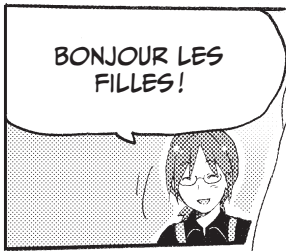
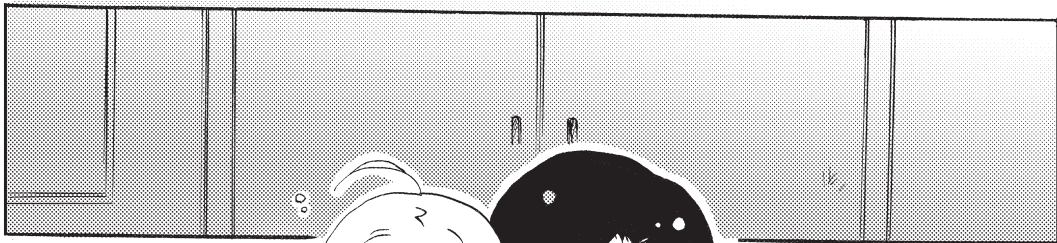
*Déchiffrons le code  
génétique!*

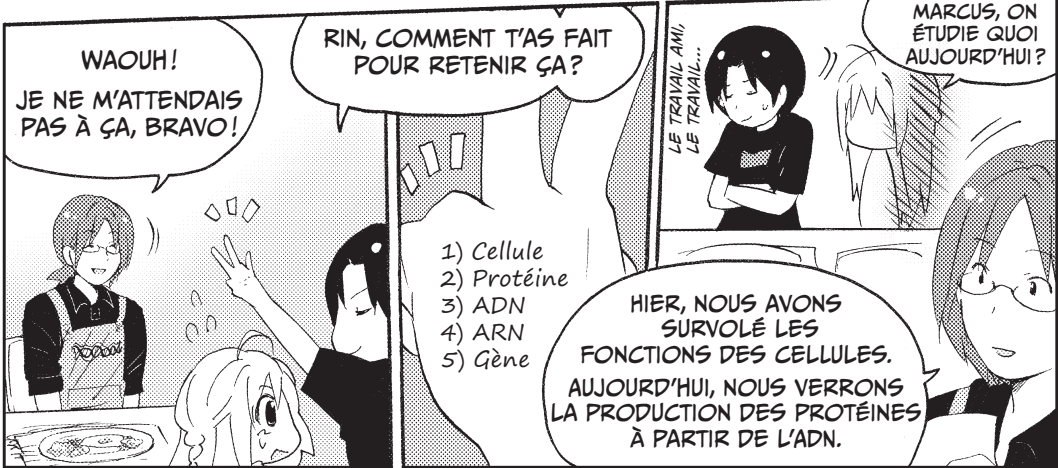
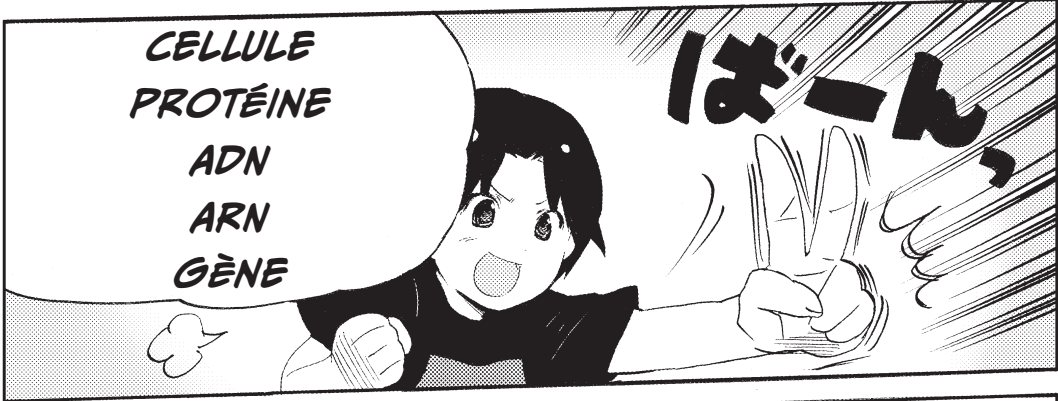
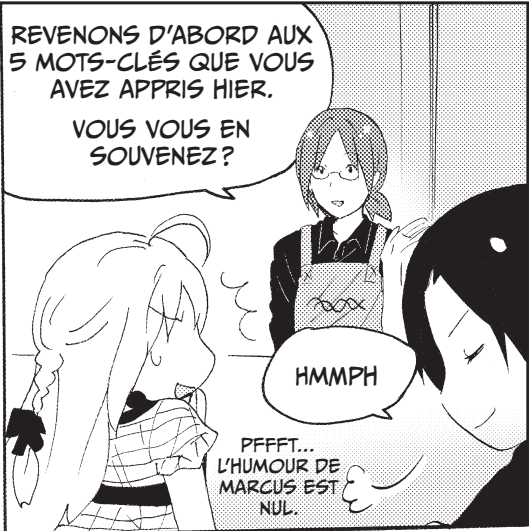
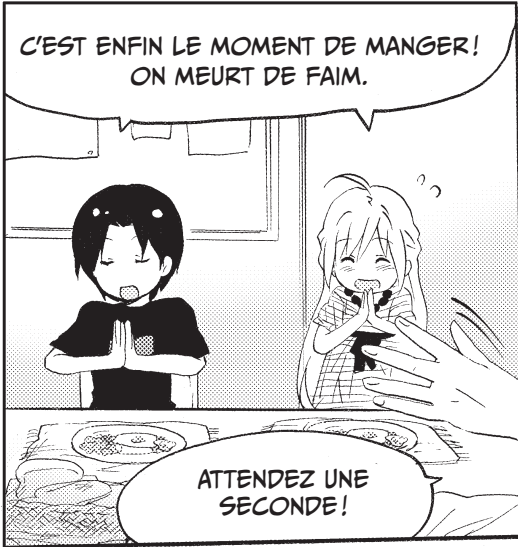


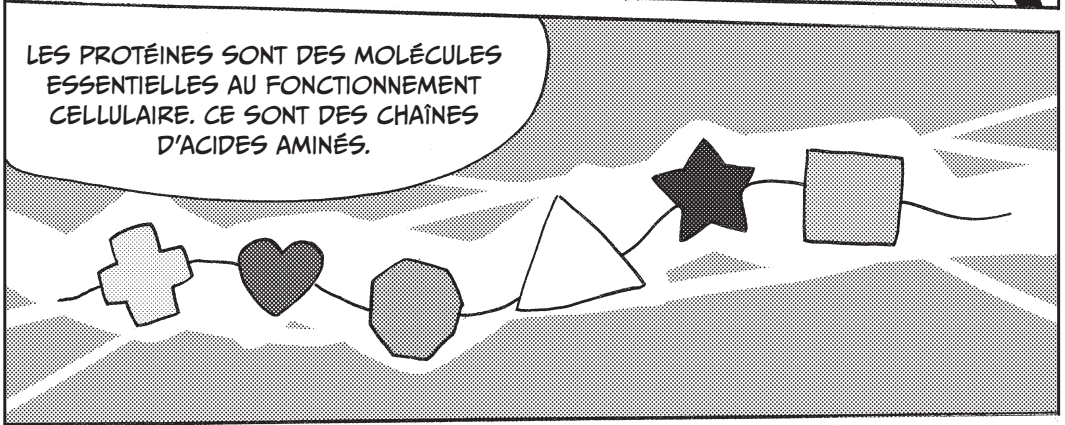
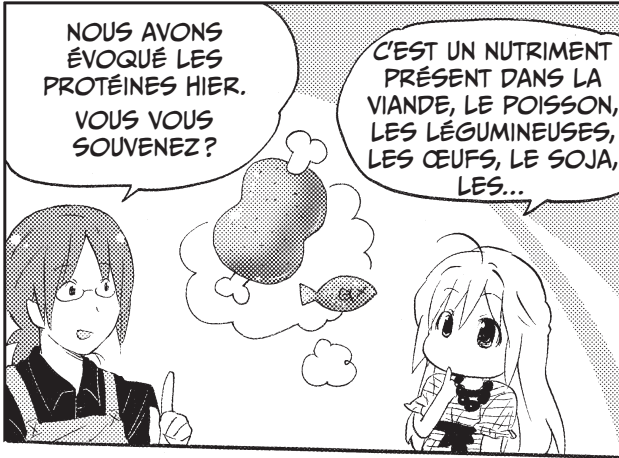












LES ACIDES AMINÉS SONT DANS LE CYTOSOL.

ACIDES AMINÉS (20 TYPES)

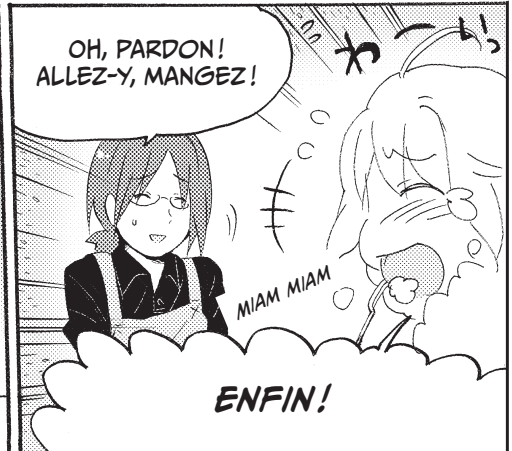
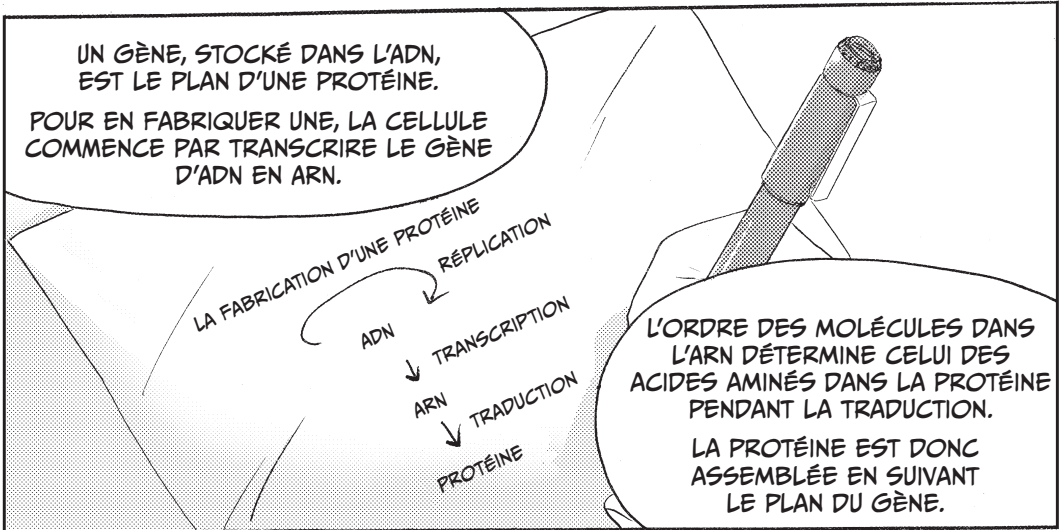
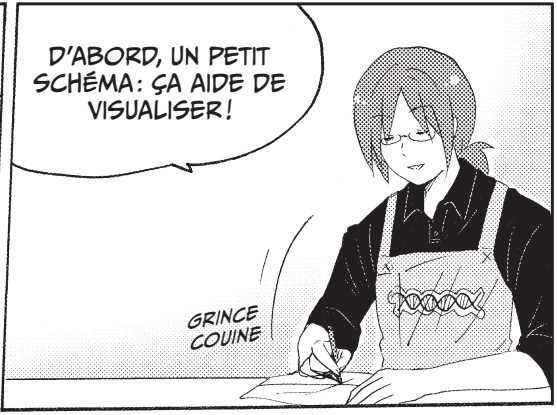
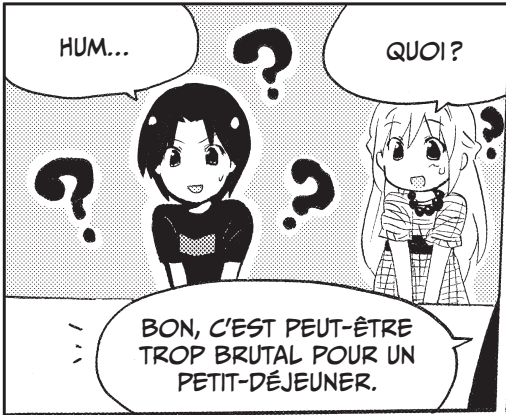
**PROTÉINES**

- ☆ ■ ♥ ..... → MYOSINE (DANS LE MUSCLE)
- △ ♥ ● ■ ☆ ..... → SUCRASE (ENZYME)
- ▽ ☆ ○ □ △ ..... → INTERFÉRON (PROTÉINE ANTIVIRALE)
- ✚ ● △ □ ▽ ..... → KÉRATINE (CHEVEUX)
- ✚ ♥ □ ● ..... → COLLAGÈNE (PEAU)

CHACQUE GÈNE EST LE PLAN D'UNE PROTÉINE CODÉ PAR L'ADN DANS LE NOYAU. L'ARN EST UNE COPIE DU PLAN QUI VA SORTIR DU NOYAU ET SE FIXER À UN RIBOSOME DU CYTOSOL.

LE RIBOSOME VA DÉCODER LA MOLÉCULE D'ARN ET ASSEMBLER LES BONS ACIDES AMINÉS DANS LE BON ORDRE POUR SYNTHÉTISER LA PROTÉINE.





# LES PROTÉINES GÈRENT L'ACTIVITÉ CELLULAIRE

C'EST QUOI, L'ACTIVITÉ CELLULAIRE ?

ALLEZ, COMMENÇONS LE COURS.

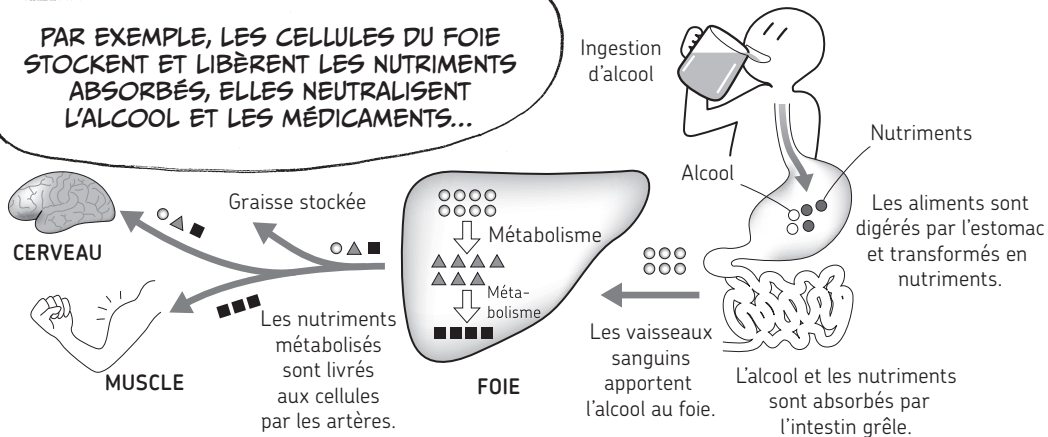
EXCUSEZ-MOI, MAIS...

OUI, RIN ?

CE QUE NOUS AVONS APPRIS EST-IL VALABLE POUR CHAQUE TYPE DE CELLULE ?

NON, CHAQUE TYPE A UN RÔLE DIFFÉRENT.

PAR EXEMPLE, LES CELLULES DU FOIE STOCKENT ET LIBÈRENT LES NUTRIMENTS ABSORBÉS, ELLES NEUTRALISENT L'ALCOOL ET LES MÉDICAMENTS...



LES CELLULES MUSCULAIRES SE CONTRACTENT ET SE RELÂCHENT POUR EFFECTUER LES MOUVEMENTS.

DONC LES TYPES DE CELLULES SONT RADICALEMENT DIFFÉRENTS LES UNS DES AUTRES!

C'EST JUSTE. ET CES DIFFÉRENTES FONCTIONS DÉPENDENT DES PROTÉINES. C'EST LE COURS D'AUJOURD'HUI.

LES PROTÉINES ONT DES FONCTIONS TRÈS VARIÉES ET ESSENTIELLES DANS LES CELLULES ET LES ORGANISMES VIVANTS.

UNE PROTÉINE DÉFECTUEUSE NE REMPLIRA PAS SA FONCTION ET LES CELLULES MOURRONT.

LES CELLULES SONT INCROYABLES, ELLES FONT TELLEMENT DE CHOSSES DIFFÉRENTES...

MAIS CONCRÈTEMENT, C'EST QUOI UNE PROTÉINE? ET COMMENT AGIT-ELLE?

AH, VOUS SEMBLEZ TRÈS INTÉRESSÉES!  
VOICI UN SUPER EXEMPLE.



**LES ENZYMES,  
DES PROTÉINES PUISSANTES !**

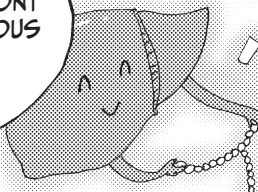
AMI ADORE LE RIZ. IL CONTIENT DE L'AMIDON QUI EST DÉCOMPOSÉ EN GLUCOSE GRÂCE À DE NOMBREUSES PROTÉINES SPÉCIALISÉES, LES ENZYMES.

LE GLUCOSE FOURNIT L'ÉNERGIE NÉCESSAIRE À LA VIE. LES PLANTES LE STOCKENT SOUS FORME D'AMIDON ET LES ANIMAUX SOUS FORME DE GLYCOGÈNE. DONC NOUS DIGÉRONS L'AMIDON ET SYNTHÉTISONS LE GLYCOGÈNE.

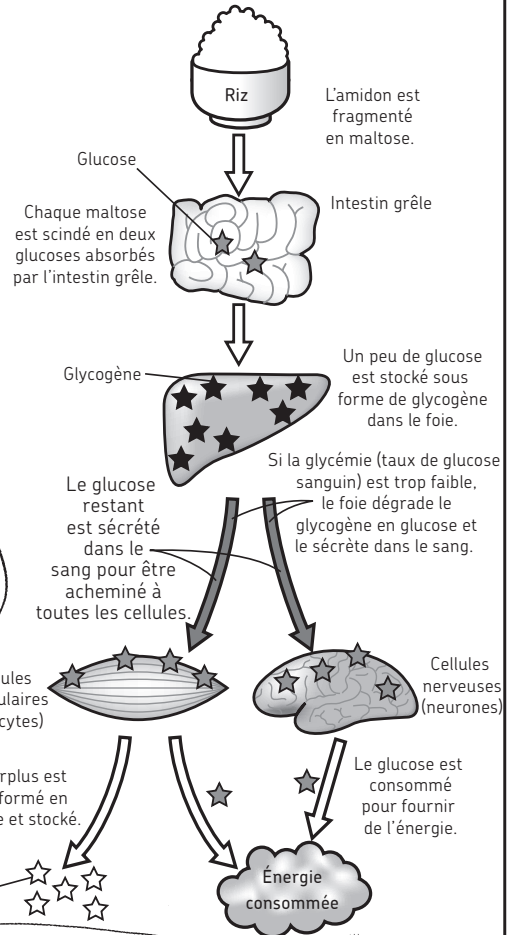


LES FÉCULENTS COMME LE RIZ, LES PÂTES ET LE PAIN CONTIENNENT DE L'AMIDON. LORSQUE NOUS LE DIGÉRONS, IL EST FRACTIONNÉ EN GLUCOSE QUI SERA ENVOYÉ À TOUTES LES CELLULES.

LE FOIE A DE NOMBREUSES FONCTIONS MÉTABOLIQUES, DONT LE STOCKAGE DU GLUCOSE SOUS FORME DE GLYCOGÈNE. IL PEUT RÉGÉNÉRER CE GLUCOSE SI BESOIN.

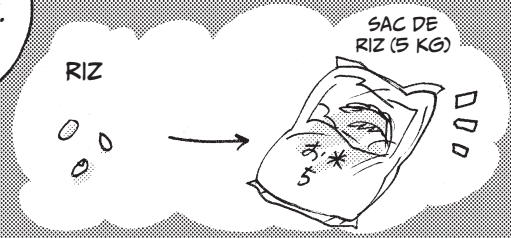


C'EST UNE PROTÉINE, LA GLYCOGÈNE SYNTHASE, QUI SYNTHÉTISE LE GLYCOGÈNE À PARTIR DU GLUCOSE.



UNE PARTIE DU GLUCOSE EST STOCKÉ À COURT TERME DANS LE FOIE ET LES MUSCLES SOUS FORME DE GLYCOGÈNE\*.

L'EXCÉDENT EST TRANSFORMÉ EN GRAISSE POUR UN STOCKAGE DE LONGUE DURÉE.



GLUCOSE



GLYCOGÈNE



LE GLUCOSE, COMME LE RIZ CUIT, SE CONSOMME TOUT DE SUITE. LE GLYCOGÈNE EST COMME LE SAC DE RIZ, STOCKÉ POUR UNE CONSOMMATION ULTÉRIEURE.

LE GLUCOSE APPORTÉ PAR LE SANG EST LA SOURCE D'ÉNERGIE DES ORGANES.

S'IL N'Y A PLUS ASSEZ DE GLUCOSE SANGUIN, DES PROTÉINES VONT DÉGRADER LE GLYCOGÈNE EN GLUCOSE, QUI SERA DÉVERSÉ DANS LE SANG.



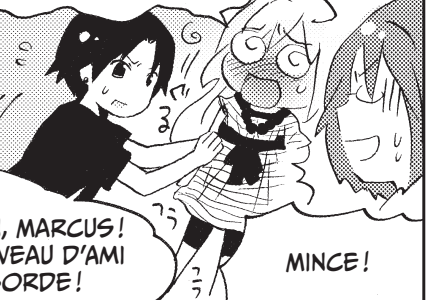
AHA



GLY... GLYCOGÈNE? GLO... GLOCUSE? GLY... GLUCOSE

OH NON, MARCUS! LE CERVEAU D'AMI DÉBORDE!

MINCE!



ARRÊTONS LE COURS ET RETOURNONS DANS LA DREAM MACHINE™ POUR ÉTUDIER LE FONCTIONNEMENT DES PROTÉINES.

VITE, DU GLUCOSE POUR SON CERVEAU!

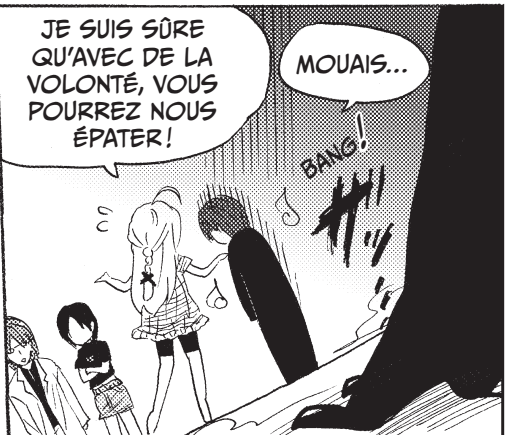
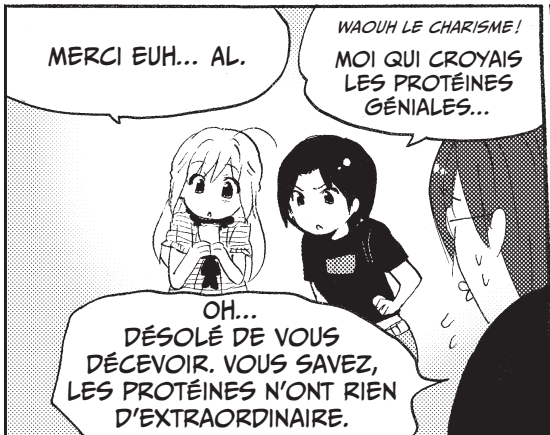
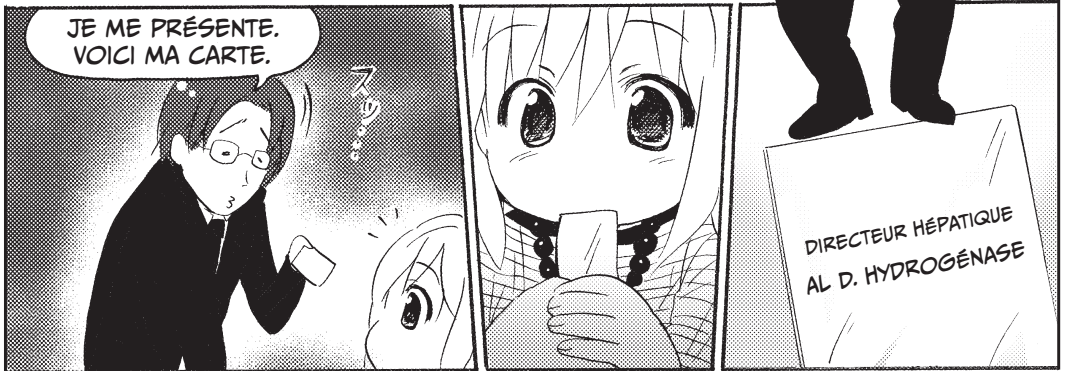
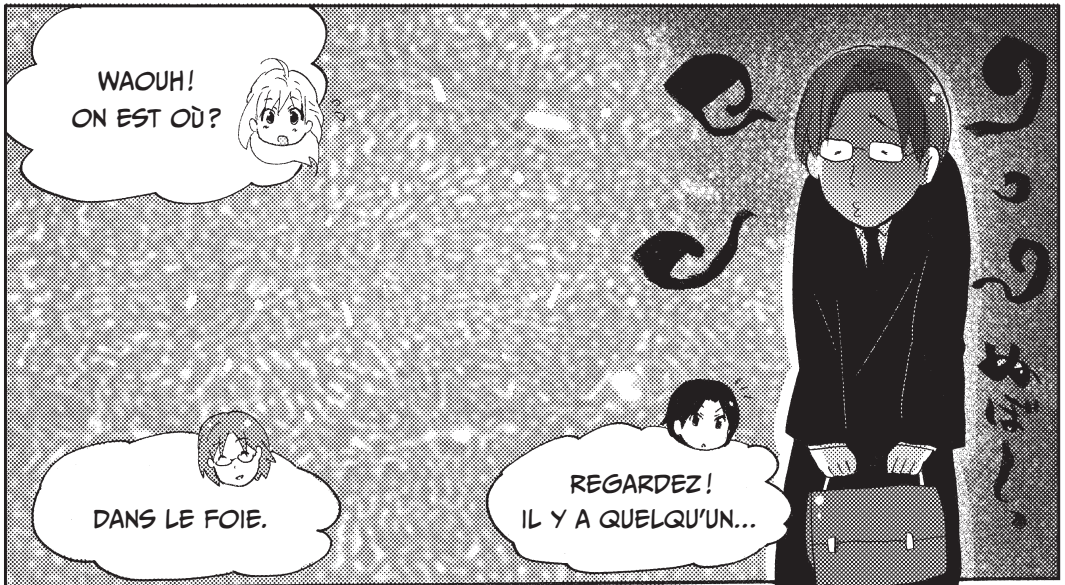


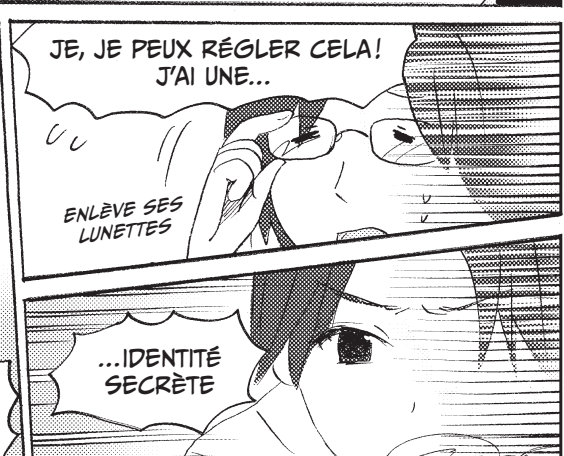
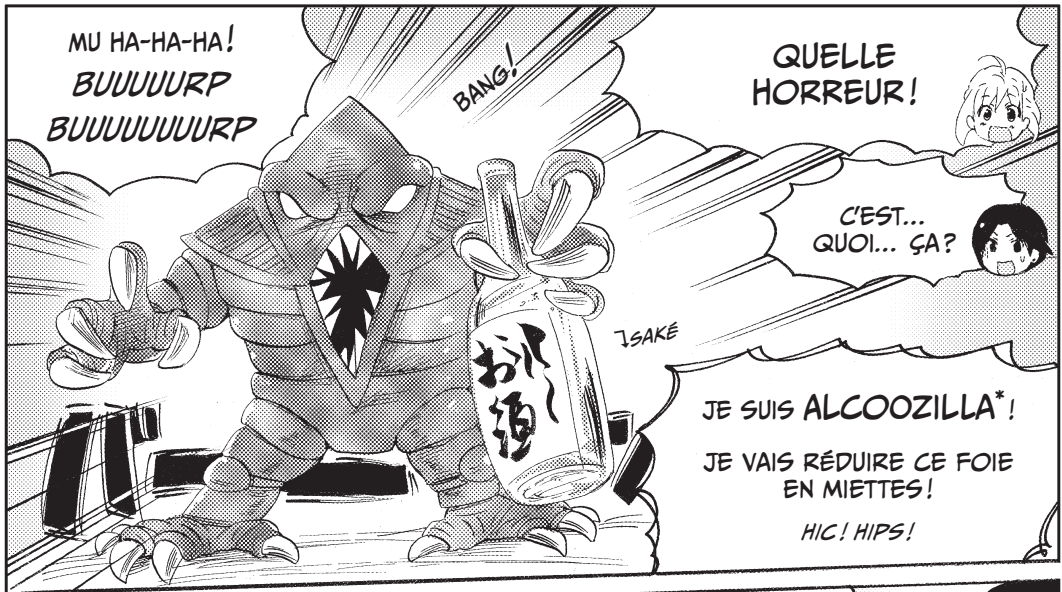
BANG!

MIAM!

\* Nous pouvons stocker 500 g de glycogène, dont 75 % dans les muscles et 25 % dans le foie.

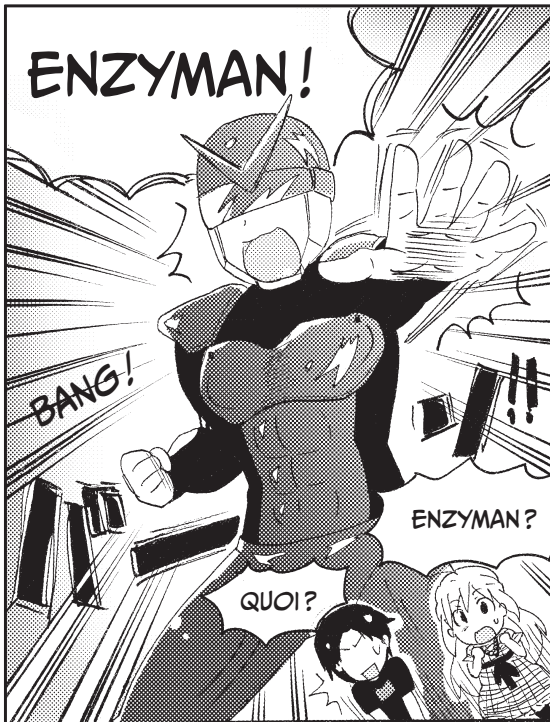






\* Alcoozilla personnifie l'alcool dans ce scénario.





**ENZYMAN!**

**BANG!**

ENZYMAN?

QUOI?

QUAND UNE ENZYME SE LIE À SON SUBSTRAT CIBLE (ICI L'ALCOOL), ELLE SUBIT UN CHANGEMENT DE CONFORMATION (UNE MODIFICATION DE SA FORME) QUI ACTIVE SON POUVOIR SECRET!

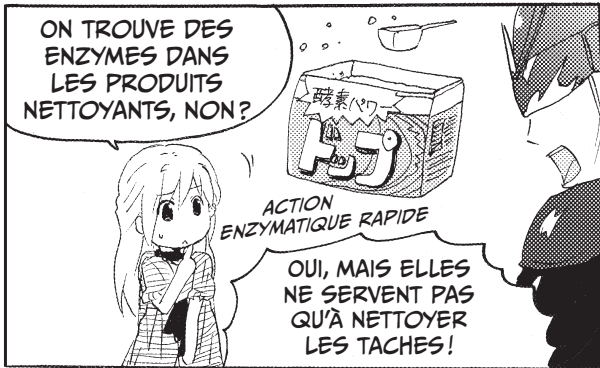
NON... UN TYPE AUSSI TERNE, QUELLE SURPRISE!



ET CE N'EST PAS UNE PROTÉINE ORDINAIRE.

CE MEC?

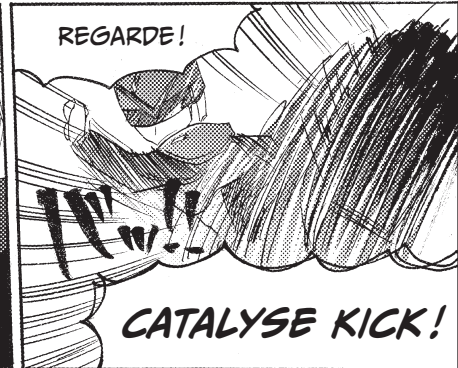
C'EST UNE ENZYME, UNE MOLÉCULE QUI A LE POUVOIR D'ACCÉLÉRER LES RÉACTIONS BIOCHIMIQUES.



ON TROUVE DES ENZYMES DANS LES PRODUITS NETTOYANTS, NON?

ACTION ENZYMATIQUE RAPIDE

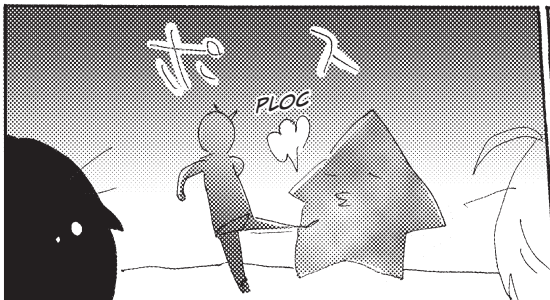
OUI, MAIS ELLES NE SERVENT PAS QU'À NETTOYER LES TACHES!



REGARDE!

**TIN!!**

**CATALYSE KICK!**

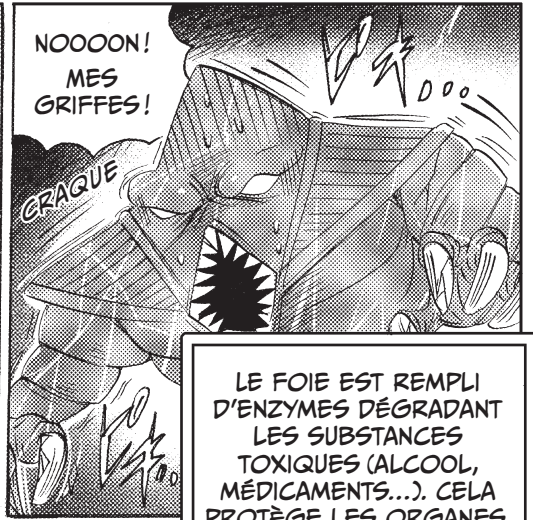
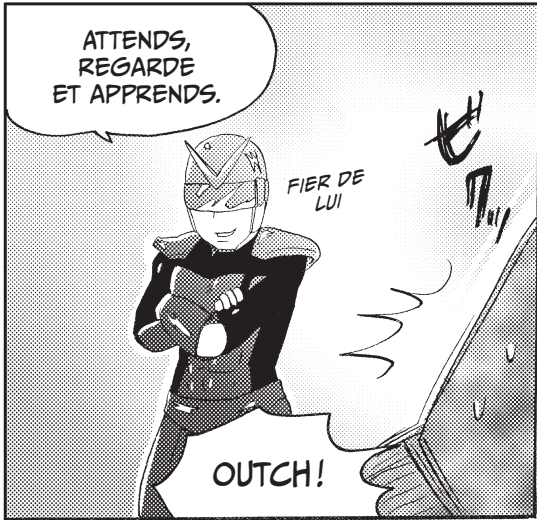


PLOC

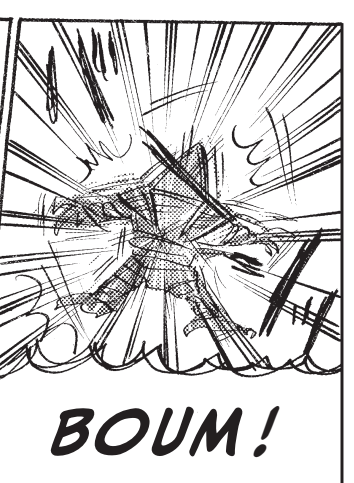
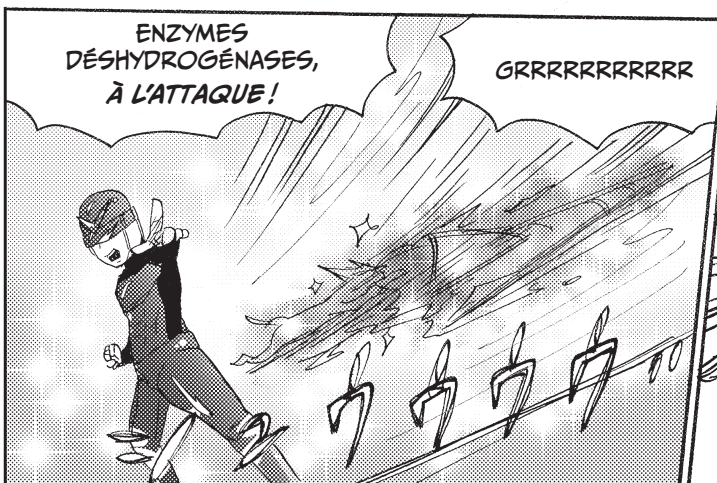
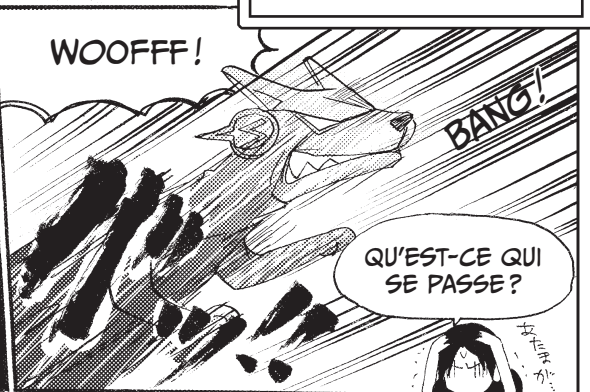
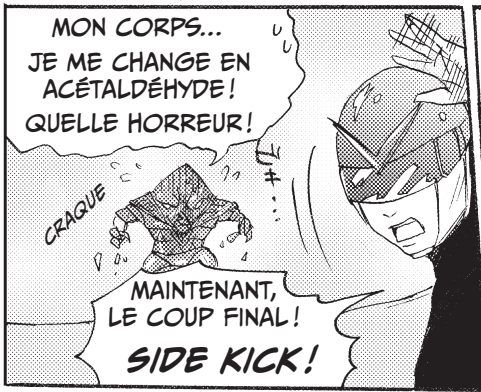
HA HA! C'EST QUOI CE COUP DE PIED RIDICULE?!

VOTRE ATTAQUE N'A AUCUN EFFET!

T'INQUIÈTE!



LE FOIE EST REMPLI D'ENZYMES DÉGRADANT LES SUBSTANCES TOXIQUES (ALCOOL, MÉDICAMENTS...). CELA PROTÈGE LES ORGANES.





CE QUI S'EST PASSÉ ?  
LA 1<sup>RE</sup> ENZYME DÉSHYDROGÉNASE  
A TRANSFORMÉ L'ALCOOL  
EN ACÉTALDÉHYDE,  
TRANSFORMÉ PAR LA 2<sup>E</sup> EN  
ACIDE ACÉTIQUE (NON TOXIQUE).

VOICI LES RÉACTIONS  
CHIMIQUES CATALYSÉES  
PAR CES ENZYMES  
PROTÉIQUES.



DÉTOXIFICATION DE  
L'ALCOOL



ALCOOL

LA RESPIRATION ÉLIMINE 10 %  
DE L'ALCOOL

CELL. DU FOIE

L'ALCOOL DÉSHYDROGÉNASE  
RÉDUIT L'ALCOOL EN...

ACÉTALDÉHYDE

L'ACÉTALDÉHYDE  
DÉSHYDROGÉNASE RÉDUIT  
L'ACÉTALDÉHYDE EN...

ACIDE  
ACÉTIQUE

LE MÉTABOLISME RÉDUIT  
L'ACIDE ACÉTIQUE EN...

DIOXYDE DE CARBONE  
ET EAU

OH, ET ALCOOZILLA  
A ÉTÉ CHANGÉ EN  
PETIT ANIMAL TROP  
CHOUPINOU!

PCHIT

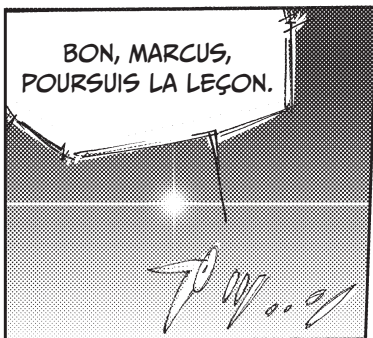
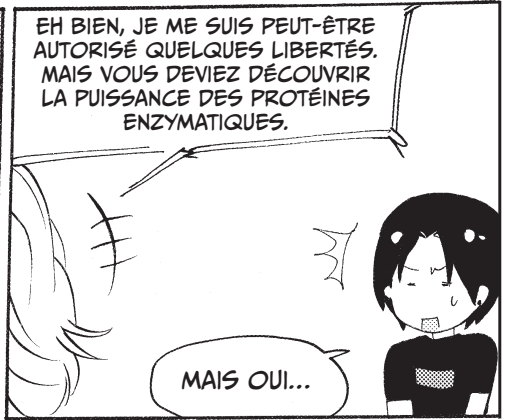
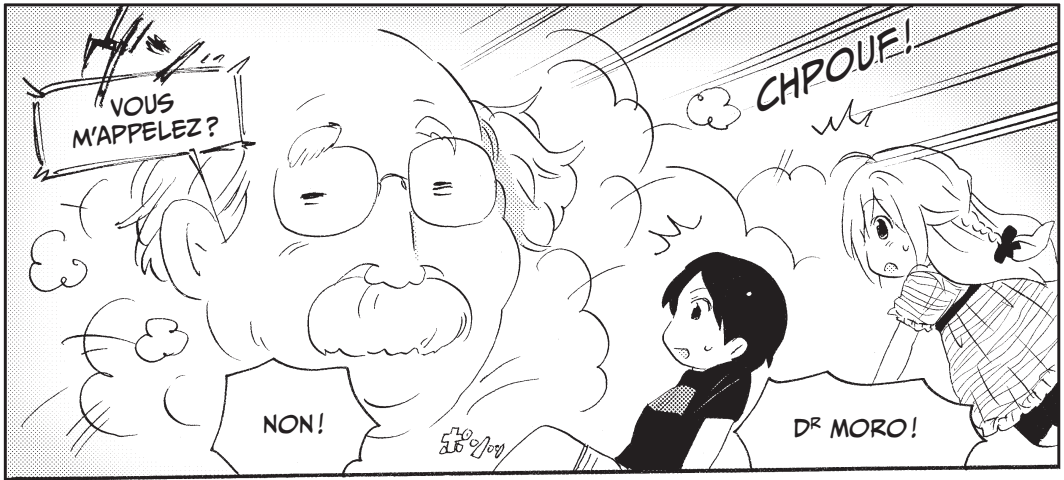
MERCI  
ENZYMAN!

CE N'EST RIEN, J'AI  
JUSTE RENDU SON  
POUVOIR AU FOIE.  
ADIEU!

LE FOIE EST SAIN ET SAUF...  
POUR CETTE FOIS!

ENZYMAN,  
VOUS ÊTES  
LE MEILLEUR!

HÉ, STOP!  
QUI A RACONTÉ  
CETTE HISTOIRE?



## LES PROTÉINES ENZYMATIQUES



L'organisme contient des dizaines de milliers de protéines différentes, qui peuvent être regroupées par familles. Avec EnzyMan, nous avons vu des exemples de protéines servant d'enzymes. Une enzyme permet, favorise ou accélère une réaction biochimique\*. On la distingue des autres molécules participant à la réaction (celles consommées et celles produites) car l'enzyme se retrouve intacte à la fin de la réaction. Évidemment, elle interagit avec les autres molécules au cours des étapes intermédiaires, elle n'est pas qu'une simple spectatrice.

La biochimie (l'étude des réactions chimiques qui se produisent dans les organismes vivants) se cache derrière toute la physiologie : la digestion, l'absorption des nutriments, la coagulation sanguine, l'immunité, la réplication de l'ADN... Et chaque réaction nécessite une enzyme particulière.

Toutes les protéines ne sont pas des enzymes : nous étudierons dans quelques jours des protéines participant au système immunitaire en détruisant des bactéries. Ce ne sont pas des enzymes.

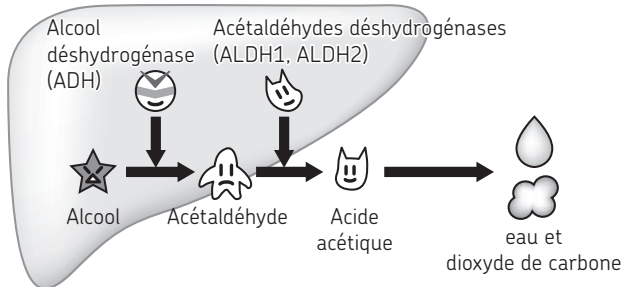


C'est pour cela que l'attaque d'EnzyMan s'appelait *Catalyse Kick* !



Les enzymes ont des noms compliqués et intimidants, mais on peut s'aider de leur fonction pour les mémoriser :

- Un nom se terminant par « -ase » indique une enzyme.
- Des enzymes ayant la même fonction ont un terme commun.  
Par exemple, les deux attaques d'EnzyMan (*Catalyse Kick* et *Side Kick*) sont des déshydrogénases : elles éliminent des atomes d'hydrogène.
- La molécule ou la famille de molécules sur laquelle l'enzyme agit est indiquée : l'*alcool* déshydrogénase agit sur l'alcool et les *acétaldéhydes* déshydrogénases agissent sur... l'acétaldéhyde.
- Enfin, les enzymes classiques sont identifiées par un sigle. Par exemple, ALDH désigne les **Acé**ta**L**déhydes **Dés**Hydrogénases.



\* En chimie, on parle de « catalyseur ». On utilise le terme « enzyme » dans le monde du vivant car elle sont produites dans l'organisme et participent au métabolisme cellulaire.



Cette nomenclature permet de distinguer les innombrables enzymes : n'oubliez pas que chaque réaction biochimique exploite une enzyme spécifique !

## LE RÔLE DES PROTÉINES DANS LA DIVISION CELLULAIRE

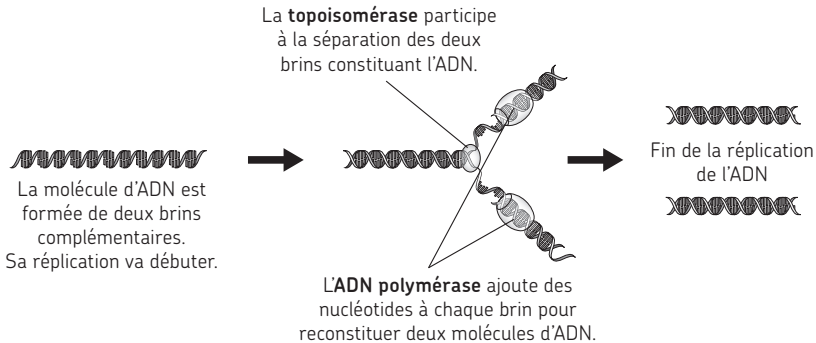


Nous avons tous commencé sous la forme d'un œuf (ovule fécondé par un spermatozoïde). Cette cellule s'est divisée en deux cellules, qui se sont elles-mêmes scindées en deux... jusqu'à former un organisme complet, possédant un nombre incalculable de cellules.

La division d'une cellule en deux cellules identiques est la *division cellulaire*. Elle comprend 3 étapes principales qui font appel à des protéines :

- la cellule duplique son contenu (organites et ADN). La copie (*réplication*) de l'ADN est initiée par une enzyme ;
- les microtubules (protéines structurelles maintenant la forme de la cellule) vont tracter une copie de chaque ADN aux deux pôles (« extrémités ») de la cellule ;
- des filaments d'actine (autre protéine structurelle) vont pincer la membrane plasmique à la manière d'une ceinture jusqu'à couper la cellule en deux, chaque exemplaire ayant alors ses organites au complet et le même ADN.

La figure suivante illustre le fonctionnement de deux enzymes intervenant dans la réplication de l'ADN.





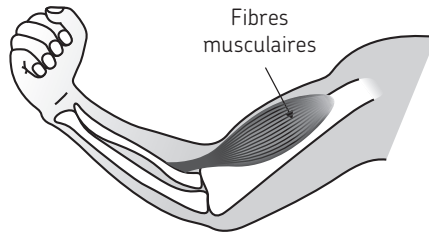
## LA CONTRACTION MUSCULAIRE UTILISE DES PROTÉINES



Marcus, si on trouve des protéines partout, il doit y en avoir dans les cellules des muscles, non ?



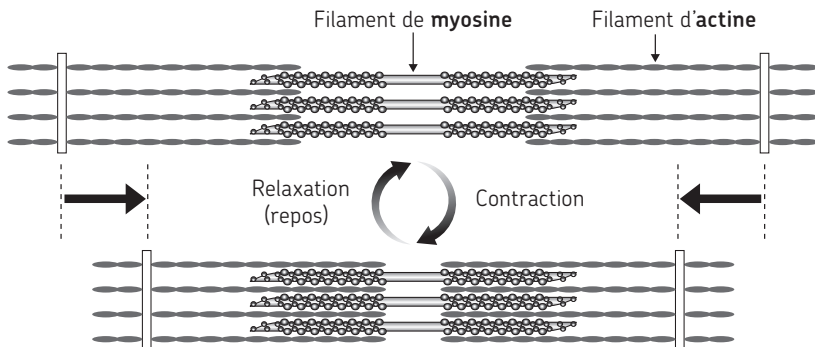
Tu as saisi l'importance des protéines ! En passant, je vous rappelle que le terme « cellule » est très général. Chaque type possède un nom : les hépatocytes sont les cellules du foie, les neurones font partie des cellules du système nerveux, etc. Les cellules musculaires s'appellent des *fibres musculaires*. C'est en lien avec leur structure.



Les muscles sont formés de faisceaux de fibres musculaires formés de filaments longs et fins :

- les *filaments d'actine*, formés de protéines appelées... **actine** !
- les *filaments de myosine*, formés de **myosine**, une autre protéine.

La contraction d'un muscle est réalisée par le glissement des filaments les uns contre les autres.





Donc quand je contracte un muscle, c'est uniquement parce que des protéines, qui sont de simples molécules, arrivent à se tracter les unes les autres ! Waouh ! Et dire qu'EnzyMan est une protéine ! Il faut dire qu'il est tellement super...



Mais c'est pas possible ! Il y a quelque chose entre EnzyMan et toi ?



Non Ami, cette fois Enzyman n'y est pour rien : ces protéines ne sont pas des enzymes ! On les dessine souvent à plat, mais elles possèdent toutes une structure en trois dimensions. C'est d'ailleurs elle qui permet à la protéine d'agir. Le glissement des actines et des myosines est un processus biochimique complexe où le changement de conformation de ces protéines permet aux unes de s'accrocher aux autres.

D'ailleurs, cela pourrait être l'occasion d'un cours entier et passionnant !



Ça, c'est sûr ! Hum... Quel dommage que ce ne soit pas au programme du cours de rattrapage.



Ah, je savais que vous trouveriez cela passionnant. Voulez-vous que...



**NON !**



## RÉSUMÉ

Euh... Bon, nous allons terminer en résumant tout ce que nous avons vu sur les protéines. (Ça reste un sujet passionnant sur lequel je pourrais parler pendant des jours.)

Le corps contient des centaines de familles de protéines. Ce sont de simples molécules, mais chacune a un rôle spécifique dans la vie et le fonctionnement des cellules et des organes. La diversité de ces fonctions est stupéfiante !

Par exemple :

- on appelle enzyme toute protéine contrôlant une réaction biochimique ;
- des protéines permettent la contraction des muscles, d'autres sont en charge de plusieurs étapes de la division cellulaire...
- le collagène est la protéine la plus abondante du corps humain (25 % des protéines). Principalement présent dans la peau, le cartilage, les tendons et les ligaments, il assure la cohésion, l'élasticité et la régénération de ces tissus ;
- les hormones (par exemple l'insuline) assurent l'homéostasie ;
- les immunoglobulines défendent l'organisme contre les virus et les bactéries.



Jusqu'à présent, vous avez expliqué que les protéines sont des molécules qui réalisent des fonctions variées. Mais les glucides et les lipides effectuent également des tâches spécifiques. Alors, face à une molécule, comment savoir si c'est une protéine, alors que c'est la première étape pour découvrir sa fonction ?



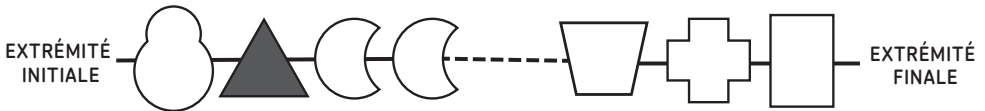
J'attendais cette question avec impatience !  
La réponse est simple : c'est la structure de la molécule qui détermine sa nature (glucidique, lipidique ou protéique). Vous vous souvenez de mon cours d'hier sur les cellules donnant les tissus puis les organes puis le corps ?



Heu... Rin s'en souvient forcément !



Ami, n'oublie pas que l'examen de rattrapage sera *individuel* !  
Bon, une protéine est simple à identifier : entre ses deux extrémités, il y a une dizaine à des milliers de molécules similaires (les *acides aminés*) reliées.  
Il existe 20 acides aminés différents.  
Deux protéines se distinguent donc par l'ordre et la nature de leurs acides aminés.



### Les protéines sont une chaîne d'acides aminés



Donc les protéines sont toutes différentes, mais organisées selon un type « spécial protéine » qui va les identifier, et même chose pour les glucides et les lipides.

C'est exactement ça Ami, bravo !



Notre molécule d'ADN très longue, et d'une importance capitale, n'est pas une protéine. Elle est cependant contruite sur le même modèle : une suite de molécules appelées *nucléotides* (il en existe 4 sortes). Et, comme pour les protéines, c'est l'ordre dans lequel sont les nucléotides qui compte.



L'ADN est une chaîne de nucléotides.  
Ils sont identiques sur ce schéma, mais il en existe 4 différents.  
(Au lieu de 20 acides aminés pour les protéines.)  
C'est l'ordre des nucléotides qui porte l'information génétique.



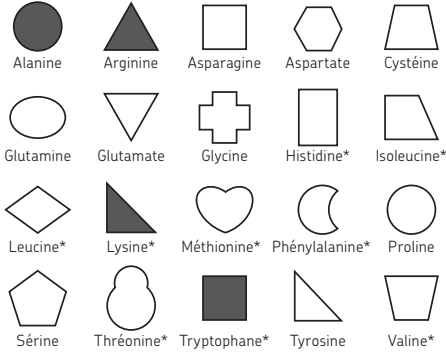
Eh bien !



# LES PROTÉINES SONT FAITES D'ACIDES AMINÉS



Voici la liste des 20 acides aminés utilisés pour assembler les protéines. (Les dessins sont fantaisistes.)



L'ÉTOILE INDIQUE UN ACIDE AMINÉ ESSENTIEL.



Attention, un acide aminé n'est pas *essentiel* au sens où les autres seraient facultatifs. Sur les 20 acides aminés (tous indispensables pour assembler les protéines), l'organisme sait en synthétiser onze. Il est donc **essentiel** d'obtenir les neuf autres par l'alimentation.



Marcus, le glutamate de sodium a-t-il un rapport avec l'acide aminé *glutamate* ? J'adore cet additif alimentaire, il rend ma nourriture délicieuse\* !



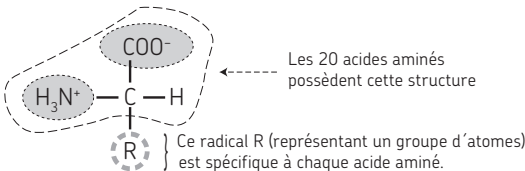
Tu as raison Ami. Le glutamate de sodium est formé de glutamate. Cet acide aminé a deux rôles cruciaux totalement indépendants. D'une part, c'est un constituant des protéines comme tous les acides aminés. D'autre part, c'est une molécule de communication entre de nombreux nerfs et neurones du système nerveux.



Oui, enfin n'oublions pas son troisième rôle crucial, être à la base du glutamate de sodium !



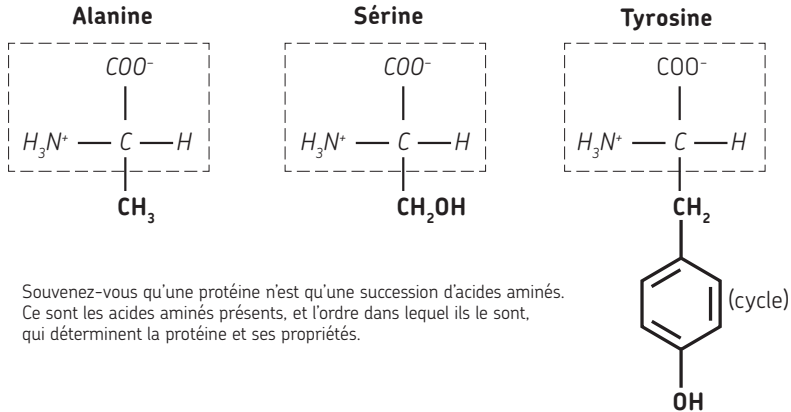
Mouai, bon... il est temps que je vous parle de la structure des acides aminés. En fait, tous ont une structure commune. Ils ne se distinguent que par un radical (une suite d'atomes) lié au carbone central. Regardez ce schéma.



(C, O, H et N représentent les atomes de carbone, oxygène, hydrogène et azote.)

\* Au début du xx<sup>e</sup> siècle, le Japonais Ikeda a établi que le glutamate de sodium apportait une nouvelle saveur, l'*umami*, qui s'ajoute aux classiques sucré, amer, acide et salé.

Les radicaux sont très variables : on peut aller d'un simple atome d'hydrogène (glycine) à deux cycles (tryptophane). Voici trois exemples. Comme prévu, le carbone central forme toujours 3 liaisons identiques : avec  $\text{COO}^-$ ,  $\text{H}_3\text{N}^+$  et  $\text{H}$ . Seule la dernière liaison diffère et identifie l'acide aminé.



Souvenez-vous qu'une protéine n'est qu'une succession d'acides aminés. Ce sont les acides aminés présents, et l'ordre dans lequel ils le sont, qui déterminent la protéine et ses propriétés.



Cela va vous sembler sans rapport mais, à votre avis, pourquoi le sang humain est-il rouge ?



C'est simple ! Notre sang est de la couleur de la flamme rouge de la justice... Comme EnzyMan brûle de passion à l'idée de faire le bien !



Hum... Ça ne peut pas être ça.



Non, effectivement. C'est parce que le sang contient un pigment rouge, l'*hémoglobine*. Les globules rouges ont une fonction très importante : ils apportent à toutes les cellules du corps l'oxygène  $\text{O}_2$  dont elles ont besoin pour produire de l'énergie. Les globules rouges sont remplis de molécules d'hémoglobine auxquelles l'oxygène se fixe.

Les globules rouges transportent aussi le dioxyde de carbone  $\text{CO}_2$  qui est un déchet métabolique des cellules.

L'hémoglobine est rouge brillant car elle contient beaucoup de fer.



Mais pourquoi parlez-vous subitement du sang ? Cela n'a aucun rapport avec les protéines !

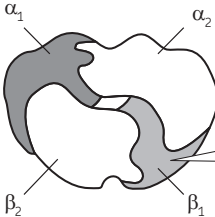


Si, si ! En fait, l'hémoglobine est constituée d'une globine, qui est une protéine. Elle est formée de 4 sous-unités protéiques : 2 notées  $\alpha$  et 2 notées  $\beta$ .

# ACIDE AMINÉ MODIFIÉ -> PROTÉINE BOULEVERSEE



La globine contient donc quatre sous-unités protéiques : deux  $\alpha$  identiques et deux  $\beta$  identiques. Chacune est formée d'une séquence d'acides aminés liés dans un ordre spécifique. (Les  $\alpha$  diffèrent évidemment des  $\beta$ .)



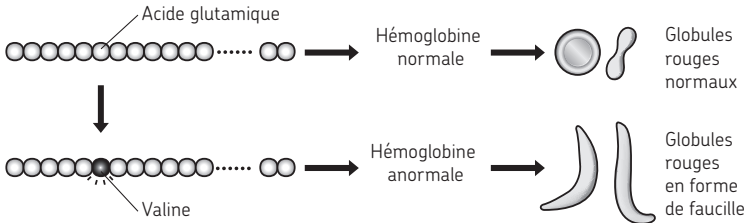
La globine est une protéine contenant quatre sous-unités protéiques : 2 unités  $\alpha$  et 2  $\beta$ .



Chaque sous-unité contient environ 150 acides aminés qui se suivent dans un ordre précis.

Le changement d'un acide aminé entraîne des conséquences variables : il peut n'avoir aucun effet, rendre la protéine moins efficace, jusqu'à causer une maladie mortelle. (Tous les échelons de gravité intermédiaires existent.)

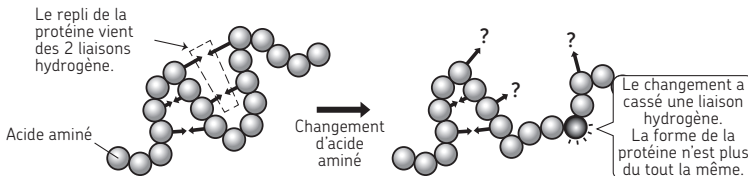
Prenons un exemple classique. Voici ce qui se passe quand l'acide glutamique, 6<sup>e</sup> acide aminé de la sous-unité  $\beta$ , est remplacé par une valine.



Comment expliquer que le changement de deux acides aminés sur la globine (un changement par chaîne  $\beta$ ) ait une telle conséquence sur le globule rouge ?\*

En fait, l'écriture des acides aminés sous forme de chaîne est trompeuse. En effet, les atomes des acides aminés agissent sur les autres (forces électrostatiques, liaisons hydrogène, caractère hydro-phile ou -phobe, etc.).

Bref, certaines parties de la protéine se repoussent et d'autres s'attirent. La protéine acquiert alors une forme tridimensionnelle stable, et c'est elle qui la rend fonctionnelle. Si le changement d'un seul acide aminé modifie sa forme, il altère en même temps son fonctionnement !

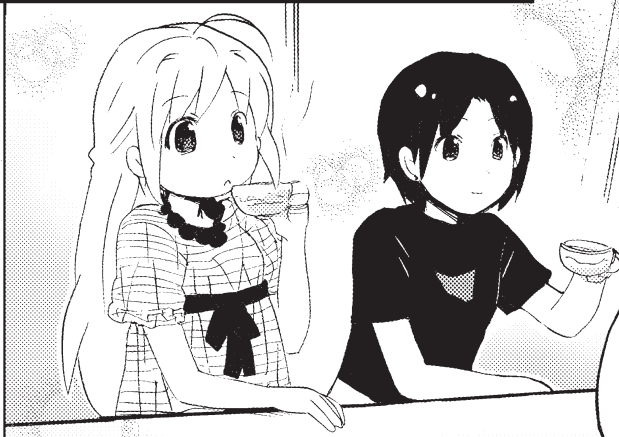


\* La mutation présentée donne une maladie de la famille des thalassémies.



# GÈNE : PLAN DE CONSTRUCTION D'UNE PROTÉINE

COMMENT LA CELLULE SAIT-ELLE QUELLE PROTÉINE CRÉER ?



VOUS COMPRENEZ MAINTENANT POURQUOI LE CHANGEMENT D'UN SEUL ACIDE AMINÉ PEUT ALTÉRER LE FONCTIONNEMENT DE LA PROTÉINE ?

OUI, MAIS COMMENT L'ORGANISME PEUT-IL RÉALISER À CHAQUE FOIS LE BON ARRANGEMENT D'ACIDES AMINÉS ?

IL NE FAIT JAMAIS D'ERREUR, COMME CRÉER LA MAUVAISE PROTÉINE ?

GRAND SOURIRE

BONNE QUESTION !

COMMENT FERIEZ-VOUS POUR ÉVITER UNE ERREUR ?

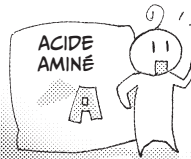
A B

J'ÉCRIRAIS LES INSTRUCTIONS ET JE LES COLLERAI SUR LE MUR !

JE DÉSIGNERAI UN RESPONSABLE POUR CHAQUE ACIDE AMINÉ ET LUI SEUL SERAIT AUTORISÉ À L'AJOUTER.

JE ME CHARGE DE L'ACIDE AMINÉ A !

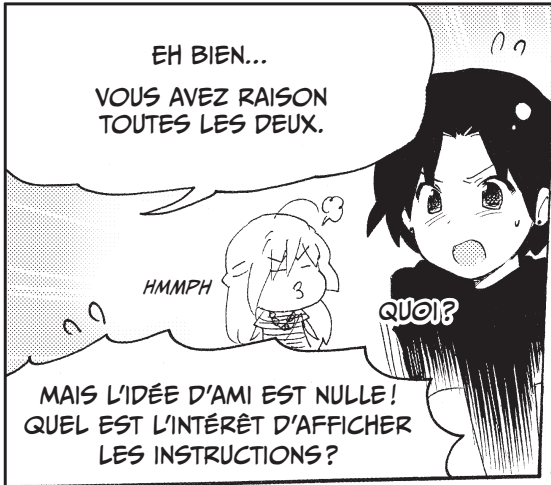
ACIDE AMINÉ



ACIDE AMINÉ



ET MOI, JE M'OCCUPE DU B !

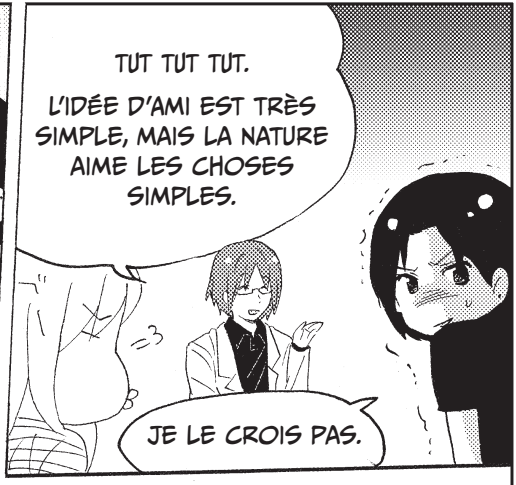


EH BIEN...  
VOUS AVEZ RAISON  
TOUTES LES DEUX.

HMMPH

QUOI?

MAIS L'IDÉE D'AMI EST NULLE!  
QUEL EST L'INTÉRÊT D'AFFICHER  
LES INSTRUCTIONS?



TUT TUT TUT.  
L'IDÉE D'AMI EST TRÈS  
SIMPLE, MAIS LA NATURE  
AIME LES CHOSES  
SIMPLES.

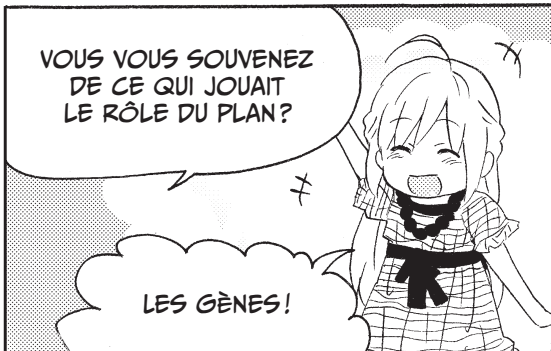
JE LE CROIS PAS.

LE PLAN INDIQUE L'ORDRE  
D'ASSEMBLAGE DES ACIDES AMINÉS.



CHACQUE PROTÉINE DISPOSE  
D'UN « PLAN » INDIQUANT SA  
SÉQUENCE D'ACIDES AMINÉS.

**JE SUIS EN  
SYMBIOSE  
AVEC LA NATURE!**



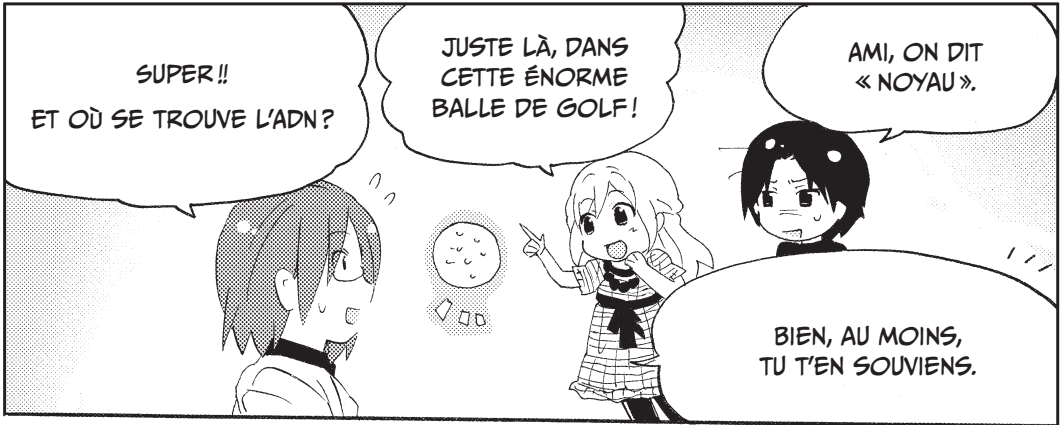
VOUS VOUS SOUVENEZ  
DE CE QUI JOUAIT  
LE RÔLE DU PLAN?

LES GÈNES!



EXACT!  
ET DE QUOI  
SONT-ILS FAITS?

ADN?

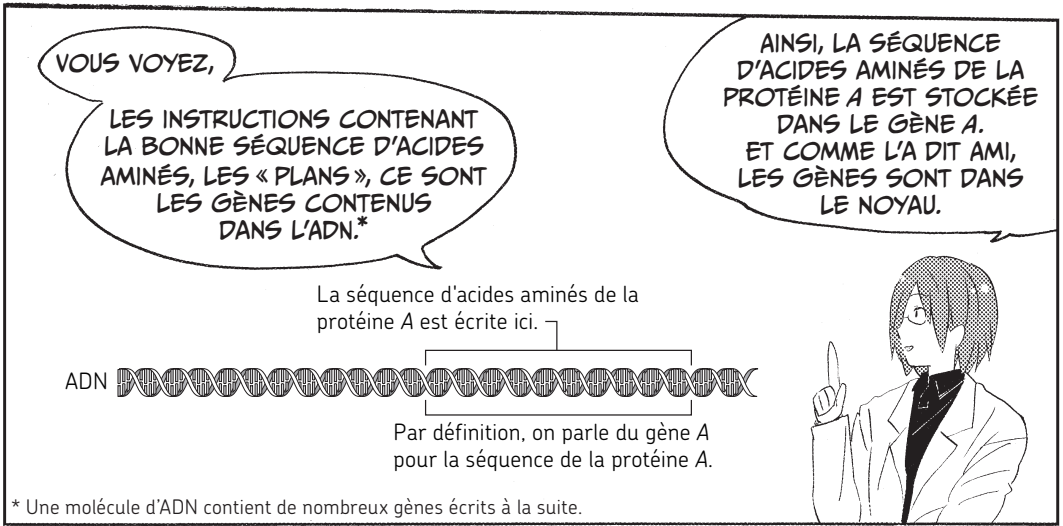


SUPER!!  
ET OÙ SE TROUVE L'ADN?

JUSTE LÀ, DANS  
CETTE ÉNORME  
BALLE DE GOLF!

AMI, ON DIT  
« NOYAU ».

BIEN, AU MOINS,  
TU T'EN SOUVIENS.



VOUS VOYEZ,  
LES INSTRUCTIONS CONTENANT  
LA BONNE SÉQUENCE D'ACIDES  
AMINÉS, LES « PLANS », CE SONT  
LES GÈNES CONTENUS  
DANS L'ADN.\*

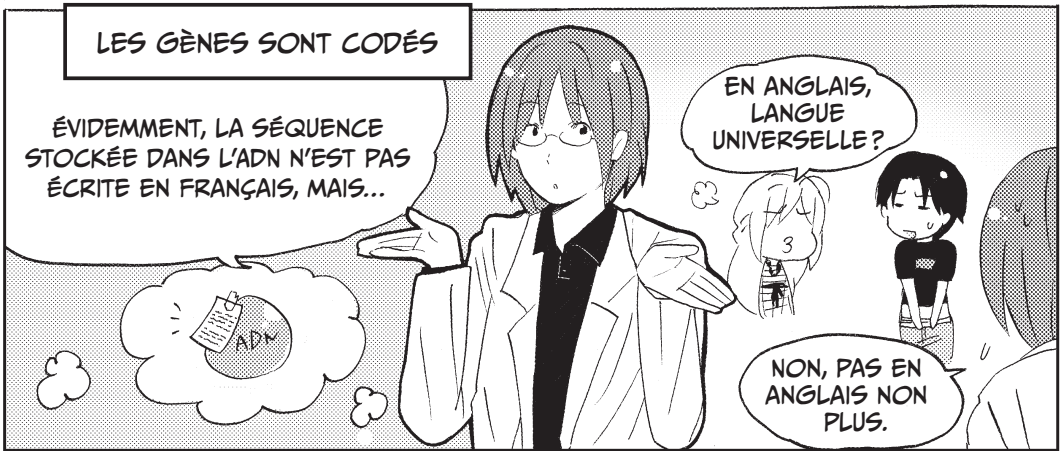
AINSI, LA SÉQUENCE  
D'ACIDES AMINÉS DE LA  
PROTÉINE A EST STOCKÉE  
DANS LE GÈNE A.  
ET COMME L'A DIT AMI,  
LES GÈNES SONT DANS  
LE NOYAU.

La séquence d'acides aminés de la  
protéine A est écrite ici.



Par définition, on parle du gène A  
pour la séquence de la protéine A.

\* Une molécule d'ADN contient de nombreux gènes écrits à la suite.



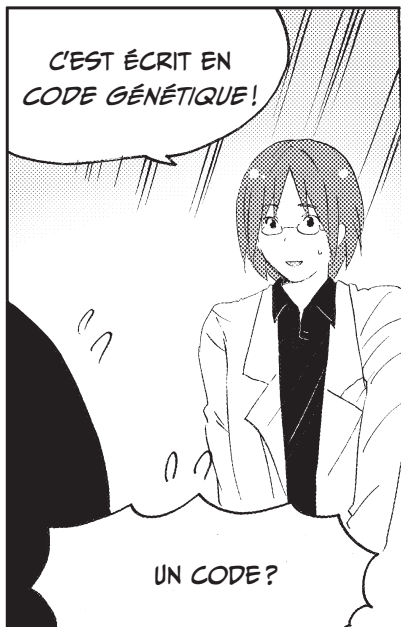
**LES GÈNES SONT CODÉS**

ÉVIDEMMENT, LA SÉQUENCE  
STOCKÉE DANS L'ADN N'EST PAS  
ÉCRITE EN FRANÇAIS, MAIS...

EN ANGLAIS,  
LANGUE  
UNIVERSELLE?

NON, PAS EN  
ANGLAIS NON  
PLUS.





L'ADN N'EST PAS FORMÉ D'ACIDES AMINÉS COMME LES PROTÉINES.

<p>Protéine</p> <p>Acide aminé</p>	<p>ADN</p> <p>Ce ne sont pas des acides aminés !</p>
------------------------------------	--

L'ADN CODE LES GÈNES AVEC DES MOLÉCULES PARTICULIÈRES APPELÉES NUCLÉOTIDES.

C'EST COMME SI L'ADN AVAIT SON PROPRE ALPHABET.

ADN (ALPHABET SPÉCIFIQUE) → TRADUCTION DE L'ARN<sub>m</sub> → SÉQUENCE D'ACIDES AMINÉS

LE RIBOSOME TRADUIT L'ARN<sub>m</sub> EN UNE SÉQUENCE D'ACIDES AMINÉS QUI FORMERA LA PROTÉINE.

CE N'EST QU'UNE APPROCHE, NOUS ÉTUDIERONS CELA DANS QUELQUES JOURS.

# ADN ET NUCLÉOTIDES

## LA « STRUCTURE EN DOUBLE HÉLICE » DE L'ADN

IL EST TEMPS D'ALLER VOIR L'ADN DE PLUS PRÈS.

HITCHOUC

HAAAA!

HEIN ? ON EST ENCORE LÀ ?

NOUS SOMMES REVENUS DANS LE NOYAU !

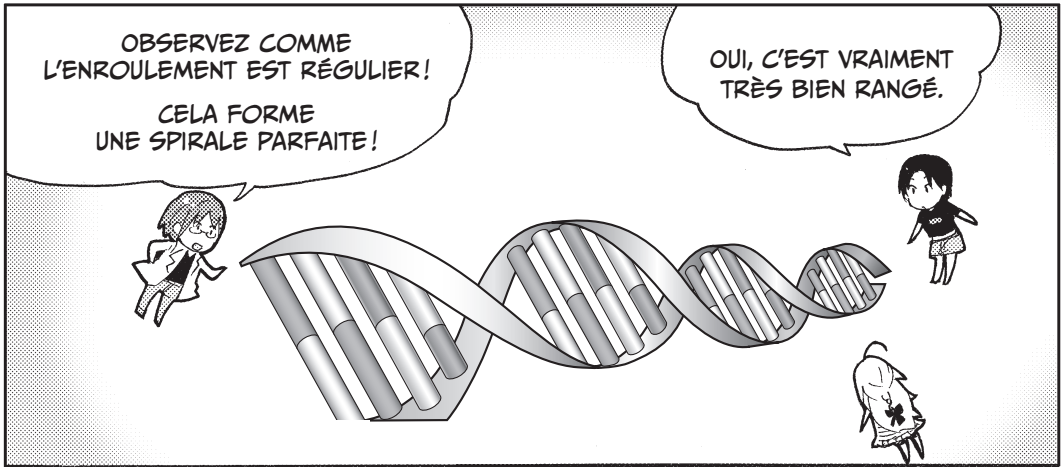
OUI.

VOUS VOUS SOUVENEZ QUE L'ADN EST ENROULÉ AUTOUR D'HISTONES, DES ASSEMBLAGES DE PROTÉINES ?

RAPPROCHONS-NOUS ENCORE.

EN REGARDANT DE PLUS PRÈS, L'ADN RESSEMBLE À UN RESSORT.

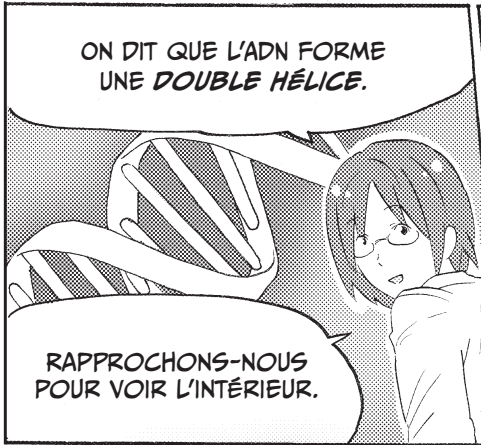
IL SEMBLE Y AVOIR COMME DEUX BRINS...



OBSERVEZ COMME L'ENROULEMENT EST RÉGULIER!

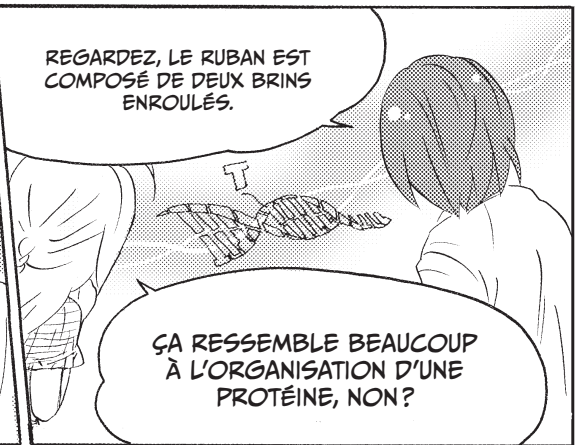
CELA FORME UNE SPIRALE PARFAITE!

OUI, C'EST VRAIMENT TRÈS BIEN RANGÉ.



ON DIT QUE L'ADN FORME UNE *DOUBLE HÉLICE*.

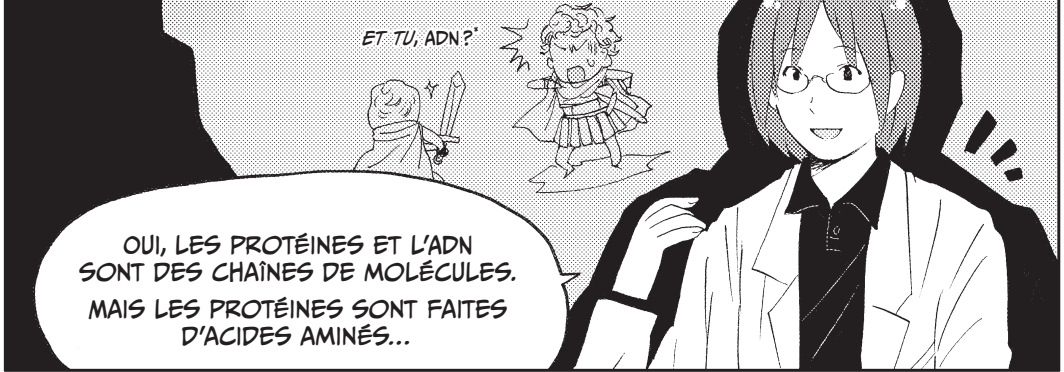
RAPPROCHONS-NOUS POUR VOIR L'INTÉRIEUR.



REGARDEZ, LE RUBAN EST COMPOSÉ DE DEUX BRINS ENROULÉS.

ÇA RESSEMBLE BEAUCOUP À L'ORGANISATION D'UNE PROTÉINE, NON?

### L'ADN EST FAIT DE NUCLÉOTIDES



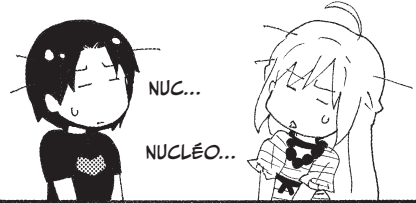
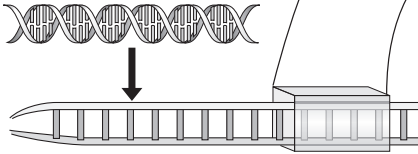
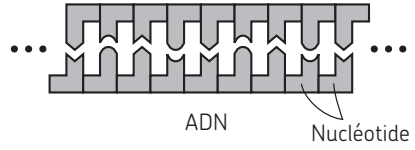
OUI, LES PROTÉINES ET L'ADN SONT DES CHAÎNES DE MOLÉCULES. MAIS LES PROTÉINES SONT FAITES D'ACIDES AMINÉS...

ET TU, ADN?

\* Clin d'œil à la réplique *Et tu, Brute?* (« Toi aussi, Brutus? ») issue de *Jules César* de Shakespeare, prononcée par César au moment de...



...ALORS QUE L'ADN EST  
CONSTITUÉ DE MOLÉCULES  
APPELÉES NUCLÉOTIDES.



LE TERME EXACT EST  
DÉSOXYRIBONUCLÉOTIDE\*... C'EST  
UN PEU COMPLIQUÉ, DONC ON VA SE  
CONTENTER DE NUCLÉOTIDE.

BONNE IDÉE!  
NUCLÉOTIDE EST DÉJÀ  
DIFFICILE À RETENIR.

SI VOUS LE PRONONCEZ  
SUFFISAMMENT,  
VOUS LE MÉMORISEREZ.

NUCLÉOTIDE  
NUCLÉOTIDE  
NUCLÉOTIDE  
NUCLÉOTIDE

ÇA NE SEMBLE PAS  
FONCTIONNER  
POUR AMI.

SURCHAUFFE  
BOUILLONNE

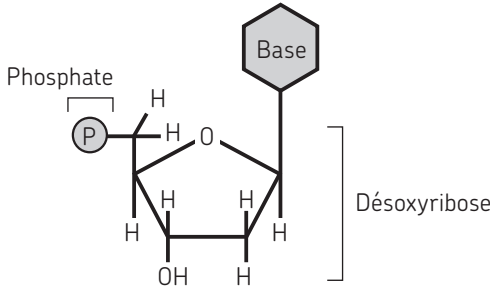
...son assassinat en reconnaissant son ami Brutus parmi les assassins.

\* Désoxyribo car le nucléotide de l'ADN utilise le sucre désoxyribose.

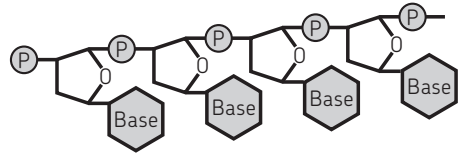
# LES NUCLÉOTIDES SONT L'ALPHABET DU CODE GÉNÉTIQUE



VOICI LA STRUCTURE D'UN NUCLÉOTIDE.



Un nucléotide



ALORS L'ADN RESSEMBLE À ÇA...



UN NUCLÉOTIDE EST FORMÉ DE TROIS PARTIES,

UN PHOSPHATE, UN DÉSOXYRIBOSE ET UNE BASE.



LE PHOSPHATE EST CONSTITUÉ D'UN ATOME DE PHOSPHORE ENTOURÉ DE QUATRE ATOMES D'OXYGÈNE.



DÉSOXYRIBOSE ET GLUCOSE SONT DES GLUCIDES. SEUL CE DERNIER POSSÈDE UNE SAVEUR SUCRÉE.



EN CHIMIE, ON UTILISE LE TERME *GLUCIDE* PLUTÔT QUE *SUCRE* POUR ÉVITER LES AMBIGUITÉS.

VOYEZ LES NUCLÉOTIDES  
COMME DES BONSHOMMES :

LA BASE EST LA TÊTE,  
LE DÉSOXYRIBOSE LES JAMBES,  
LE PHOSPHATE LES BRAS.

POUR FORMER L'ADN,  
CHACUN ATTRAPE  
LA JAMBE DU SUIVANT.

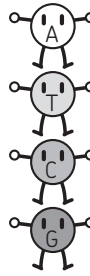
Base → Nucléoside → Nucléotide → ADN



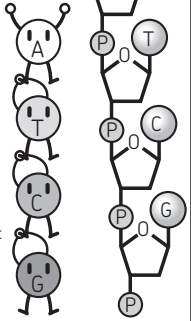
Sucre  
Deviens  
un  
nucléoside  
quand les  
jambes  
sont  
attachées



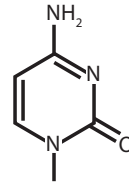
Phosphate  
Deviens  
un  
nucléotide  
quand les  
bras sont  
attachés



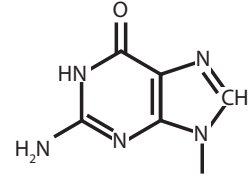
Phosphate  
et  
sucre  
L'ADN est  
complet  
quand  
chaque  
nucléotide  
attrape  
la jambe du  
suivant avec  
ses 2 bras



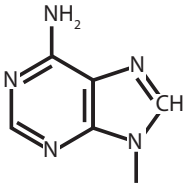
LA BASE D'UN NUCLÉOTIDE  
NE PEUT ÊTRE QUE L'UNE  
DES QUATRE MOLÉCULES  
SUIVANTES...



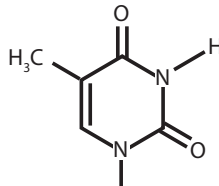
Cytosine (C)



Guanine (G)



Adénine (A)



Thymine (T)

...ADÉNINE, THYMINE, CYTOSINE  
ET GUANINE, QUE L'ON ABRÈGE  
RESPECTIVEMENT A, T, C ET G.

LA BASE EST L'ÉLÉMENT  
PRINCIPAL DU NUCLÉOTIDE.

L'ADN EST UNE LONGUE SUITE  
DE NUCLÉOTIDES RELIÉS DANS  
UN ORDRE PRÉCIS QUI CODENT  
LES GÈNES.

ÇA ME RAPPELLE  
QUELQUE CHOSE.

MOI AUSSI, C'EST  
UN PEU COMME  
LES PROTÉINES.

OUI, UNE PROTÉINE  
EST AUSSI UNE  
CHAÎNE DE  
MOLÉCULES, LES  
ACIDES AMINÉS.

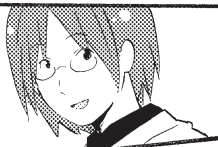


LES PROTÉINES ET L'ADN SONT DES **POLYMÈRES\***, C'EST-À-DIRE UNE SUITE D'UNITÉS APPELÉES **MONOMÈRES\***.

NOUS SAVONS QUE L'ORDRE DES MONOMÈRES (ACIDES AMINÉS POUR LES PROTÉINES, NUCLÉOTIDES POUR L'ADN) EST CRUCIAL POUR CES MOLÉCULES...



...ET DONC POUR LEUR FONCTION.

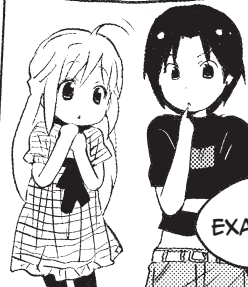


J'AI COMPRIS!  
CE SONT LES 4 BASES  
A, T, C ET G!

L'ORDRE DES ACIDES AMINÉS EST STOCKÉ DANS L'ADN EN UTILISANT UN ALPHABET SPÉCIFIQUE DE QUATRE LETTRES. QUI SONT... QUI SONT?

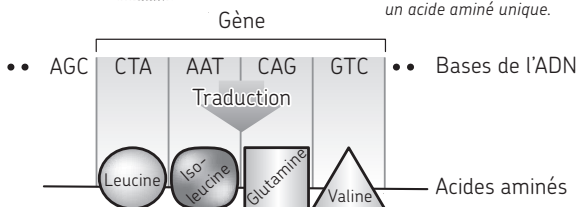


EXACTEMENT!



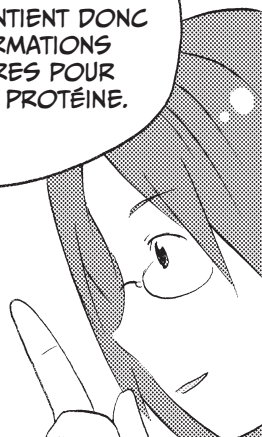
L'ORDRE DES BASES DE L'ARN...

1 codon (groupe de 3 bases consécutives) détermine un acide aminé unique.

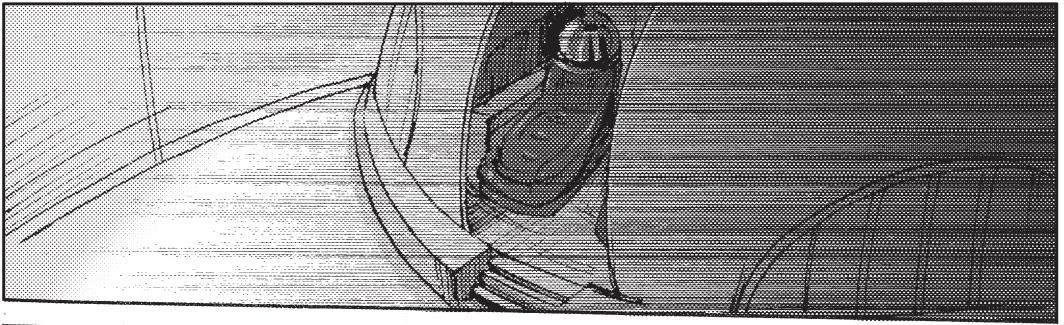


...DÉTERMINE CELUI DES ACIDES AMINÉS DANS LA PROTÉINE.

UN GÈNE CONTIENT DONC LES INFORMATIONS NÉCESSAIRES POUR CRÉER UNE PROTÉINE.



\* Poly- pour « plusieurs », Mono- pour « seul » et -mère pour « partie ».



AH D'ACCORD!  
JE ME DEMANDAIS  
JUSTEMENT COMMENT ON  
PASSAIT DES GÈNES AUX  
ACIDES AMINÉS.

RIN, TU COMMENCES  
À COMPRENDRE.

ET AMI?  
POURQUOI ELLE  
COMMENCERAIT PAS  
À COMPRENDRE  
AUSSI?

TU AS RAISON AMI,<sup>u</sup>  
JE SUIS SÛR QUE  
TU AS RETENU DES  
CHOSSES, NON?

NUCLÉITODE  
AH! ACIDE ANIMÉ AH!  
AH! PROUTÉINE

ガック

EN EFFET, JE RECONNAIS  
QUE TU ES PRESQUE AU  
POINT SUR CERTAINES  
CHOSSES.

RIN N'A QU'UN PEU D'AVANCE,  
C'EST TOUT.

LE DR MORO SERA  
CONTENT, ELLES  
TRAVAILLENT DUR  
TOUTES LES DEUX.

PRENDS ÇA!

AIE!





# CHROMOSOMES, GÈNES ET REPRODUCTION

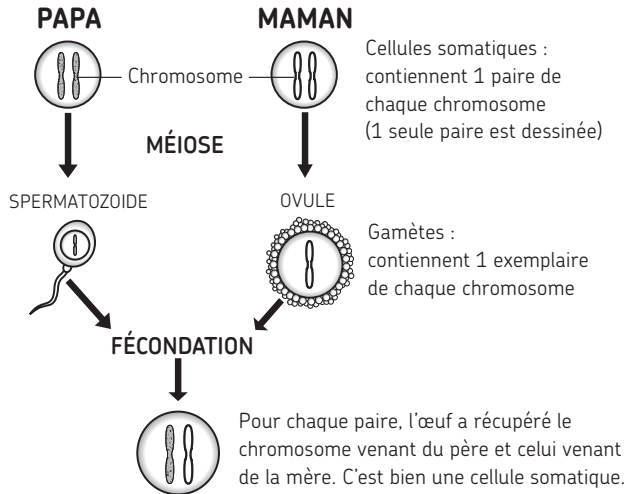


Les cellules sexuelles (ovule et spermatozoïde) sont appelées des **gamètes**. Toutes les autres cellules du corps sont des cellules **somatiques**.

Chaque cellule humaine somatique possède 46 chromosomes\* regroupés en 23 paires. Dans chaque paire, l'un est hérité de la mère (depuis l'ovule), l'autre du père (via le spermatozoïde).

Les gamètes humaines n'ont qu'un exemplaire de chaque chromosome, soit 23 chromosomes chacune. La fusion de deux gamètes donnera bien une cellule somatique avec 23 paires.

Pour fabriquer les gamètes, on part d'une cellule somatique (23 paires) et on la divise (ADN inclus) pour obtenir deux cellules sexuelles ne contenant que 23 chromosomes (1 de chaque paire). Ce mécanisme s'appelle la **méiose**.



On peut imaginer le génome comme une petite bibliothèque de 46 livres contenant des nouvelles. Chaque livre est un chromosome et chaque nouvelle est un gène donnant la recette de fabrication d'une protéine.

Ce qui précède donne l'impression que l'ADN est une suite de gènes qui se succèdent comme les voitures d'un train. Ce n'est pas le cas : entre les gènes, il y a de longues séquences de bases non codantes. Elles jouent un rôle essentiel dans la régulation de l'expression des gènes, et possèdent d'autres fonctions que la recherche continue d'explorer.

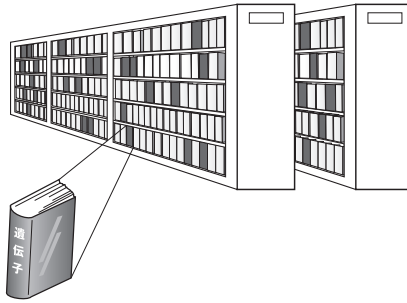
\* Le nombre de chromosomes dépend de l'espèce. Ainsi, la poule en possède 78 et certaines fougères 1 200.

## COMMENT VISUALISER LA TAILLE DU GÉNOME ?



Nous avons vu que l'ADN, contenu dans le noyau de chaque cellule, était formé de 3,2 milliards de bases choisies entre A, T, C et G.

En considérant une base comme une lettre, il faudrait 5 000 livres de 300 pages pour contenir l'ADN d'une cellule, donc d'un individu.



# Index

- 3' (3 prime), extrémité ..... 123–124  
5' (5 prime), extrémité ..... 123–124  
acétaldéhyde déshydrogénase (ALDH)  
72–73, 75–76  
acide aminé ..... 29, 44, 63–64, 79–82  
chaîne ..... 63, 173, 178–180  
codon ..... 172–179  
création des protéines ..... 79–86,  
173–178  
remplacement ..... 81–83  
séquence ..... 63–64, 83–86, 180  
structure ..... 80–81, 92  
transcription/translation . 63, 160,  
172–179  
acide nucléique ..... 29, 42, 49, 159,  
205–208  
actine ..... 77–78  
adénine ..... 91, 113–114, 163  
ADH (alcool déshydrogénase) ... 72–76  
ADN ..... 17–18, 41–43, 49, 58, 62–65  
ADNc (complémentaire) ..... 194  
anomalies et mutations ..... 136,  
143–144, 164, 199, 214  
bases ... 91–92, 113–114, 163–166  
brin codant ..... 152–153  
chromosomes ..... 94–95, 128–134  
circulaire ..... 194, 196  
double hélice .87–88, 112–115, 152  
gène ..... 111–112  
génomme ..... 94–96, 198–199  
ligase ..... 195, 211  
manipulation ..... 187–189  
nucléotides ..... 76, 79, 86–93,  
112–117, 121, 123, 164  
polymérase . 76, 114–126, 164, 209  
réplication 64, 75–76, 98, 111–126,  
134  
squelette sucre-phosphate .... 113,  
164–165, 197  
structure ..... 48–50, 76, 83–93,  
112–115, 123, 150–151, 166, 170  
synthèse ..... 120–123  
anaphase ..... 132  
antibiotique ..... 196  
anticodon ..... 177–178  
ARN 17–18, 43, 49–51, 62–63, 162–168  
amorce ..... 121–122, 194  
ARNc (circulaire) ..... 194, 196  
ARNi (interférent) ..... 207–209  
ARNm (messager) ... 50, 158–159,  
167  
ARNpm (pré-messager) ..... 160  
ARNt (transfert) .... 167, 171–173,  
176–179, 208  
base ..... 152, 159, 173–177  
miARN (micro-ARN) ..... 208  
ribonucléotide ..... 165  
RISC ..... 208  
séquence ..... 147, 152–156, 159,  
166–167, 176–177, 209  
structure ..... 166–167, 170  
traduction ..... 86, 171–172  
transcription ... 152–153, 159–160  
ATP ..... 39  
bactérie ..... 28, 38–39, 54, 58, 161  
E. coli (Escherichia coli) .. 106, 191  
bibliothèque d'ADNc ..... 194  
cancer .94, 136, 143, 200, 202–203, 206  
catalyse ..... 71, 75  
cellule ..... 22–25  
animale ..... 129, 133  
basale ..... 109, 134  
communication entre ..... 35



cytoplasme . . . 31, 37, 44, 50–51, 58, 131–132, 158, 207

eucaryote . . . . . 57–58

fonctions . . . . . 65–66

multicellulaire 25, 54–58, 106–109

organisme vivant . . . . . 26–30, 37

organite . . . 29, 37–41, 58, 133, 180

peau . . . 55, 63, 108–109, 134, 215

procaryote . . . . . 57–58

production d'énergie 29, 38–39, 67, 81

sang . . . . . 81–82

somatique . . . . . 213–214

souche . . . . . 199, 214–215

structure . . . . . 29, 31–32, 79, 130

unicellulaire . . . 25, 28–30, 54–58, 103–106

végétale . . . . . 133

centrosome . . . . . 31, 130–131

cholestérol . . . . . 29

chromatine . . . . 128, 134, 150–151, 154

chromosome . . . . . 94–95, 128–134

sexuel . . . . . 129

clonage . . . . . 211–214

transduction . . . . . 192, 195–197

code génétique . . . . . 86, 173–174

codon . . . . . 172, 174–179

anticodon . . . . . 177–178

stop . . . . . 175–179

complexe de pré-initiation . . . . . 172

corps nucléaire . . . . . 58

CTD (domaine carboxy-terminal) . . 159

cycle cellulaire . . . . . 134–135

cytocinèse . . . . . 130, 133, 135

cytoplasme . . . . . 31, 37, 44, 50–51, 58, 131–132, 158, 207

cytosine . . . . . 91, 113–114, 163–164

désoxyribose . 90–91, 123–124, 164–165

division cellulaire . . . . 76, 98, 103–109, 128–133

DMLA . . . . . 209

*E. coli* . . . . . 106, 191–192, 195–197

EcoRI . . . . . 194

embryon . . . . . 199, 211–212, 215

énergie (cellule) . . . . . 29, 38–39, 67, 81

enveloppe nucléaire . . . . . 42, 50, 58, 130–134, 158, 171

enzyme . . . . . 63, 67–74, 78

acétaldéhyde . . . . . 72–73

ADN ligase . . . . . 195, 211

ADN polymérase 76, 114–126, 164, 209

ARN polymérase . . . . . 154–160

catalyse . . . . . 71, 75

de restriction . . . . . 194, 210–211

déshydrogénase . . . . . 72–76

glycogène synthase . . . . . 67, 75

protéines et . . . . . 67–76

ribozyme . . . . . 208

splicéosome . . . . . 160

épissage . . . . . 160–161

épithélium . . . . . 55–56

exon . . . . . 159–162

foie . . . . . 38, 65–75, 147

fuseau mitotique . . . . . 132

gamète . . . . . 199

gène . . . . . 17, 42, 50–52, 58, 62–64

chromosome . . . . . 94–95, 128–134

comme plan . . . . . 17, 50–51, 63–64, 83–85, 112, 143–145, 152, 159, 189

construction protéine . . . . . 83–86

évolution . . . . . 148, 161–162, 214

exon . . . . . 159–162

expression . . . 52–53, 149, 207–210

fossile . . . . . 149

intron . . . . . 159–161, 171, 194

mutation . 136, 143–144, 164, 199, 214

pseudogène . . . . . 148–149

recombinaison . . . . . 189–197

réplication ADN . . . . . 111–112

structure . . . . . 84–86

supresseur de tumeur .....136  
 thérapie .....202, 204–206  
 transgène ..... 199  
 génome .....198–199, 213  
   animal ..... 198–199, 213  
   humain ..... 94–96  
   transduction et clonage ..... 192,  
   195–197  
 globine ..... 82  
 glucose ..... 29, 39, 67–68, 75  
 glycogène ..... 67–68, 75  
 glycogène synthase ..... 67, 75  
 golgien (appareil) ..... 31, 37–40, 180  
 guanine ..... 91, 113–114, 163  
 hémoglobine ..... 78, 81–82, 144  
 hétérochromatine ..... 151  
 histidine .....80, 173–176  
 histone ..... 48–49, 128–129, 150  
 homéostasie ..... 78  
 hormone ..... 78  
 hybridation ..... 190  
 hydrogène (liaison) ..... 82, 113, 116  
 immunoglobuline ..... 78  
 insuline ..... 78, 191  
 intron ..... 159–161, 171, 194  
 KO (souris) .....198–201  
 leucine ..... 80, 160, 175  
 liaison hydrogène ..... 82, 113, 116  
 ligament ..... 55  
 lipide .....29, 33–36  
 lysine ..... 80  
 lysosome ..... 31, 38, 40  
 maladies liées au mode de vie .202–204  
 maltose ..... 67  
 médecine personnalisée ..... 202–204  
 membrane .....  
   cellule ..... 29, 33–38, 42, 58, 76  
   fusion ..... 35–36, 38  
 métabolisme ..... 65, 73, 205, 209  
 métaphase ..... 131  
 microtubule ..... 131–132  
 mitochondrie .....31, 38–40  
 mitose ..... 130–133, 135  
 molécule .. 15–16, 22–24, 29, 35–42, 63  
 monomère ..... 92  
 mosaïque ..... 199, 201  
 muscle ..... 55–56, 65–66, 77–78  
 mutation .. 136, 143–144, 164, 199, 214  
 myosine ..... 63, 77–78  
 noyau ..... 41–42, 130  
   structure ..... 43–53  
 nucléole ..... 31  
 nucléoside ..... 91  
 nucléosome ..... 49, 150  
 nucléotide 76, 79, 86–93, 112, 115–117,  
   121–123, 164  
 nutriments .37, 54, 65, 75, 78, 133, 136  
 Okazaki (fragments) ..... 124–125  
 organisme .....  
   multicellulaire 25, 54–58, 106–109  
   unicellulaire .... 25, 28, 30, 54–58,  
   103–106  
 organite ..... 29, 37–41, 58, 133, 180  
 paramécie ..... 24, 54, 58, 104, 106  
 PCR ... 76, 114–126, 193–197, 209–211  
   quantitative ..... 210  
 péroxysome ..... 38–40  
 phases G1, G2, M, S ..... 134–135  
 phosphate ..... 90–91, 123, 164–165  
 phospholipide ..... 33–36  
 plasmide ..... 195–196, 210–211  
 polymérase  
   ADN ..... 76, 114–126, 164, 209  
   ARN ..... 154–160  
 polysaccharide ..... 29, 34  
 procaryote ..... 57–58  
 Projet génome humain ..... 94  
 prophase ..... 130  
 protéine ..... 17–18, 29, 34–35, 38, 42,  
   62–66  
   acides aminés .....79–86, 173–178  
   actine ..... 77–78  
   création .. 62–64, 79–86, 138, 144,  
   167, 173–178

enzyme ..... 67–76  
 fonctions ..... 62–66, 78  
 hémoglobine ..... 78, 81–82, 144  
 histone ..... 48–49, 128–129, 150  
 myosine ..... 63, 77–78  
 structure ..... 79–82, 92, 167, 180  
 synthèse ..... 52–53, 171–173, 208  
 types ..... 63, 75, 78  
 protozoaire ..... 54, 58, 106, 184  
 pseudogène ..... 148–149  
 reproduction ..... 98–103, 107  
   non sexuée ..... 106  
 réticulum endoplasmique ... 31, 37–38,  
   42, 171, 180  
 ribonucléotide ..... 165  
 ribose ..... 165  
 ribosome ... 37–40, 44, 51, 86, 120, 158  
   dans la traduction ..... 171–172,  
   176–179  
 ribozyme ..... 208  
 RISC (Complexe induisant le silence de  
   l'ARN) ..... 208  
 SE (cellule souche) ..... 199, 214–215  
 SELEX méthode ..... 209  
 signal de localisation nucléaire ..... 44  
 splicéosome ..... 160  
 sucre .....  
   ADN vs ARN ..... 164–165  
   glucose ..... 29, 39, 67–68, 75

syndrome métabolique ..... 202–203  
 système immunitaire ..... 63, 75  
 télophase ..... 132  
 thérapie génique ..... 202, 204–206  
 thymine ..... 91, 113–114, 163–166  
 topoisomérase ..... 76  
 traduction .....  
   acide aminé ..... 172–179  
   ARNm ..... 86, 171–172  
   ARNpm (pré-messager) .. 152–153  
   codon ..... 172, 174–179  
   complexe de pré-initiation .... 172  
   protéine (synthèse) ..... 171–173  
   ribosome ..... 171–172, 176–179  
 transcription .....  
   alternatif ..... 161  
   ARNm ..... 152–153, 159–160  
   ARN polymérase ..... 154–160  
   chromatine ..... 150–151, 154  
   épissage ..... 160  
   pseudogène ..... 148–149  
 transduction et clonage .. 192, 195–197  
 transgène ..... 199  
 transgénique (animal) ..... 198–201  
 UV (lumière) ..... 143, 197, 200  
 vecteur ... 191, 195–196, 201, 205, 211  
 vésicule ..... 32, 37–38

