

THÉMATIQUE : Protéines : Système digestif humain et Biotechnologie
NIVEAU : 3e secondaire (2e cycle)
DISCIPLINE : Sciences

PROTEO, le regroupement québécois de recherche sur les protéines

SÉQUENCE D'ACTIVITÉS GRATUITES

Chaque seconde, dans chacune de nos **cellules**, des dizaines de millions de **protéines** nous maintiennent en vie! Parce que bien assemblées, les protéines sont des mini-robots qui accomplissent une infinité de tâches! Elles ont aussi une foule d'applications industrielles insoupçonnées! Afin de partager leur passion avec les jeunes, le groupe de recherche **PROTEO** vous propose le jeu Web pédagogique **ENZYMO, des protéines qui ont du muscle**. De quoi découvrir des concepts du programme tout en explorant avec vos élèves des **carrières scientifiques inspirantes**. Comme celles des scientifiques de PROTEO qui s'intéressent aux **protéines**, aux **enzymes** et aux **biotechnologies**.



OFFRE COMPLÉMENTAIRE

COÛT	TYPE D'OFFRE	DESCRIPTION ET LIEN
Gratuit	Jeu ENZYMO en 3 courts chapitres 1. La digestion 2. Le détergent 3. Le plastique	Enzymo est un jeu Web pour comprendre les rôles de base des protéines dans le système digestif humain et dans diverses biotechnologies du quotidien. C'est un excellent outil pour comprendre les modèles scientifiques , et leurs limites. https://enzymo.ca/

MISE EN SITUATION CULTURELLE (médiation et signifiante culturelles)

À quoi ça sert, les **protéines**? D'abord, oui, tu en manges, et elles composent tes muscles et tes tissus. Mais elles jouent aussi un rôle dans tes yeux pour voir autour de toi, ou encore dans ton cerveau pour transmettre les influx nerveux jusqu'à tes doigts. **Les protéines sont des mini-machines qui accomplissent une infinité de tâches dans ton corps.** Dans une seule de tes cellules, c'est plusieurs dizaines de millions de protéines qui s'activent, chaque instant !

Les scientifiques québécois de **PROTEO** travaillent à mieux comprendre la fonction des protéines, et à leur trouver des applications. Dans le jeu Web **ENZYMO**, tu découvriras le rôle d'un type de protéine, les enzymes, dans la **digestion**, dans le **lavage** des taches de tes vêtements et même dans la digestion de **plastiques polluants**!

PROTEO, c'est près de 500 scientifiques, 79 équipes de recherches de 13 institutions qui font de la recherche sur les protéines: leurs fonctions, leur ingénierie et les applications pouvant en découler. Mieux comprendre comment les protéines sont produites, ça permet, entre autres, de mieux comprendre ce qui cloche dans certaines maladies. La recherche sur les protéines inspire ainsi de nombreuses percées dans des entreprises pharmaceutiques et biotechnologiques.

Des protéines biodégradables peuvent aussi accélérer des réactions chimiques, et remplacer des produits polluants utilisés en industrie! Certaines protéines peuvent détoxifier les sols, ou même fabriquer des matériaux biodégradables plus verts! Assurément, la recherche sur les protéines sera parmi les plus importantes des prochaines décennies.

Comprendre les **protéines**, ces **biotechnologies** provenant d'organismes vivants, ça te servira à mieux comprendre le monde dans lequel tu vis. Les **protéines** auront un impact sur ta santé, sur ton environnement, sur l'agriculture et dans plusieurs autres secteurs industriels. Et qui sait, pourquoi pas toi-même suivre les traces des scientifiques de PROTEO pour trouver de nouveaux usages aux protéines?

RESSOURCES POUR INTRODUIRE LES THÉMATIQUES	
THÉMATIQUE	CONTENU, SOURCES EN LIEN HYPERTEXTE
SYSTÈME DIGESTIF	<p>AUDIO L'lviDiS, un système digestif « robotisé » d'Agriculture et Agroalimentaire Canada.</p> <p>SITE WEB Fiche d'ALLO PROF couvrant les bases du système digestif</p> <p>VIDÉOS Crash course [En anglais] - Le système digestif illustré, partie 1 - aliments et digestion Crash course [En anglais] - Le système digestif illustré, partie 2 – enzymes et digestion Épisode sur l'alimentation, les protéines et le burger du futur de Curium à ICI Radio-Canada télé.</p> <p>PROJETS Inspiration – exemples de modélisation du système digestif sur Pinterest</p>
<p>APPLICATIONS BIOTECHNOLOGIQUES Autres applications des protéines Détergents et antibiotiques</p>	<p>SITES WEB ET VIDÉOS Introduction aux applications des protéines : blogue du Centre des sciences de Montréal Détergents et enzymes <ul style="list-style-type: none"> • L'entreprise Innuscience et ses produits à base de bactéries et d'enzymes. • Test montrant l'efficacité des enzymes [en anglais, avec sous-titres]. Nouvelles petites protéines et antibiotiques : travaux de l'Université Laval Pollution plastique <ul style="list-style-type: none"> • Enzymes dégradant le plastique PET, reportage sur RDI en 2018. • Article dans Québec Science en 2019 </p>
<p>CARRIÈRES SCIENTIFIQUES Pour plus d'informations</p>	<p>SITES WEB Campagne Vis ta science sur les carrières dans le médicament Des exemples inspirants de Parlons science</p>

VOLET PÉDAGOGIQUE

DISCIPLINE	LIEN AVEC LE PROGRAMME
Science 3 ^e secondaire	Transformations chimiques et physiques Associer des réactions chimiques connues à des réactions de décomposition ou de synthèse Système digestif <ul style="list-style-type: none">○ Rôles du tube digestif○ Principales parties du tube digestif et leurs fonctions○ Principales glandes digestives et leurs fonctions○ Types d'aliments et leurs sources○ Transformation des aliments : mécanique et chimique Biotechnologie : culture cellulaire, transformation génétique
Science 5 ^e secondaire	Biotechnologie : biodégradation des polluants
Orientation 2 ^e cycle sec.	Préférences professionnelles et profil personnel (3 ^e sec.) Perceptions et réalité du monde du travail (4-5 ^e secondaire)

QUESTIONS DE MISE EN SITUATION

- As-tu une idée de ce qu'est une **protéine** ? Une **enzyme** ? Une **biotechnologie** ? Peux-tu donner des **exemples** ?
- À quoi servent les **enzymes de ton système digestif** ?
- À quoi peuvent servir les protéines et les **enzymes dans ton quotidien** ?
- Comment les **aliments** sont-ils **digérés** en passant de ta **bouche... jusqu'à la sortie** ?

QUESTION DE RETOUR RÉFLEXIF

- Quels sont les **principaux éléments du système digestif** que tu retiens ? **Construis un modèle** résumant ta pensée.
- Dans tes mots, comment fonctionne une **enzyme** ?
- Le jeu Web ENZYMO est une **modélisation**? Quels éléments n'étaient **pas réalistes**, et comment proposes-tu de les corriger ?
- En dehors du corps humain, **à quoi servent les enzymes** ?
- Pour quelle tâche **une enzyme pourrait t'aider** ? Où trouverais-tu des enzymes aux applications inspirantes ?
- Trouve des **entreprises québécoises et canadiennes** qui produisent des enzymes pour des applications industrielles ?

PROPOSITION DE SÉQUENCE PÉDAGOGIQUE

Cette séquence a été testée en classe avec 4 enseignant.es et 9 classes dans deux écoles secondaires (Montréal et Québec).

Chapitre 1 : Système digestif et modélisation

Ce chapitre de jeu peut être utilisé avec vos élèves pour

- a. aborder le système digestif ET/OU*
- b. réviser le système digestif.*

Qui dit protéine, dit d'abord **alimentation**. Tout au long du **tube digestif**, des **enzymes** digèrent les aliments. Les **enzymes**, ce sont des **protéines** qui agissent comme des ciseaux qui coupent les aliments en morceaux de plus en plus petits, jusqu'à ce qu'ils puissent être **absorbés** par les **intestins** sous forme de **nutriments simples**. Oui, il y a toute une « biotechnologie » au cœur de ton ventre!

Inviter vos élèves à jouer au chapitre 1 : La digestion au www.enzymo.ca

Tout au long du jeu, rappelez à vos élèves de faire leur propre modèle de tube digestif.

Revenez avec vos élèves sur leur modèle de tube digestif. Qu'ont-ils bien retenu?

Tentez de trouver les limites du modèle scientifique qu'est le jeu Web ENZYMO.

*(voir en **Annexe - Aucun modèle n'est parfait ! Les inexactitudes du jeu ENZYMO**)*

Chapitre 2 : Lavage de tes vêtements préférés

Le **système digestif** et une **laveuse**, ça fonctionne un peu de la même façon! La saleté et les taches alimentaires des vêtements sont nettoyées par une **action mécanique**, en frottant les vêtements entre eux ou sur les parois de la laveuse, et par **l'action chimique** du savon et des **enzymes**.

Aujourd'hui, des scientifiques d'un paquet d'entreprises au Québec et au Canada travaillent à améliorer les enzymes **biodégradables** contenues dans les détergents, question qu'elles soient toujours **plus efficaces et plus résistantes au froid**. Le but : utiliser **moins de détergents** et **moins d'énergie**. De quoi réduire la pollution et consommer plus responsablement.

Inviter vos élèves à jouer au chapitre 2 : Le détergent au www.enzymo.ca

Faites ensuite un parallèle entre les enzymes du tube digestif et celles des détergents. Lesquelles sont similaires ? Lesquelles sont différentes ?

Chapitre 3 : Digérer la pollution plastique. Un exemple.

Des dizaines de millions de tonnes de plastique s'accumulent chaque année dans l'environnement. Prenons l'exemple du poly(téréphtalate d'éthylène), ou PET, [un des plastiques les plus abondants](#) au monde. On en produit [chaque année 70 millions de tonnes](#)! C'est le poids de 14 millions d'éléphants en emballage et en vêtements jetés! Le hic, c'est que le PET prend des centaines d'années à se décomposer...

En 2020, des [scientifiques français](#) ont trouvé une enzyme capable de décomposer efficacement le PET (plastique...) dans une boîte de compost! Comme l'enzyme dégrade le plastique en ses composants originaux, on pourrait les réutiliser pour refaire des bouteilles. Bon, la technologie n'est pas au point pour être utilisée à grande échelle. Mais des [scientifiques](#) d'ici [travaillent](#) sur des [enzymes similaires](#), et ça commence à sentir bon!

Inviter vos élèves à jouer au chapitre 3 : Le plastique au www.enzymo.ca.

Revenez avec eux sur comment on pourrait utiliser les enzymes pour diminuer la pollution plastique.

ANNEXE - INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

Chapitre 1 : La digestion

Protéines et enzymes - les bases

De quoi sont faites les protéines ?

D'un assemblage d'acides aminés. On compte une vingtaine d'acides aminés différents dans les protéines. Les acides aminés, c'est comme des blocs LEGO^{md}, on peut les assembler en une multitude de minuscules robots aux fonctions très diverses.

C'est quoi la différence entre une protéine et une enzyme ?

Les **protéines** sont des constituants essentiels de tous les êtres vivants. Elles sont de grosses molécules faites de chaînes d'acides aminés. Il existe plusieurs types de protéines.

- Par exemple, ta peau, tes ongles et tes cheveux sont faits de **kératine**. C'est une **protéine fibreuse** qui joue un rôle de **structure**, une sorte de **matériau de construction**.
- Les **enzymes** sont un autre type particulier de **protéines**. Leur fonction est d'accélérer des **transformations chimiques**, comme la **digestion** de certains **aliments**.

Quelles sont les principales enzymes de ton tube digestif ?

Bouche

Amylase : digère l'amidon, un type de **glucide**. Les **amylases** sont entre autres produites par les **glandes salivaires**.

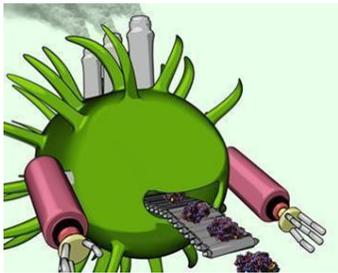
Estomac

Pepsine : elle digère en partie les **protéines** alimentaires en plus petites chaînes d'acides aminés. C'est ce qu'on appelle une protéase. La pepsine est produite par les **glandes gastriques** de la paroi (muqueuse) de l'**estomac**.

Note : La pepsine est une protéine ; même si elle digère surtout les protéines alimentaires, elle digère aussi parfois d'autres pepsines ! Oupsy !

Dans l'intestin grêle

Le **pancréas**, puis les **glandes intestinales** plus loin dans l'intestin, produisent plusieurs enzymes pour terminer la digestion des **glucides**, des **protéines**, des **lipides**, et des **acides nucléiques**.



Les bactéries, des usines à protéines

Aujourd'hui, on peut facilement reproduire le gène codant pour n'importe quelle protéine, et l'insérer dans une bactérie. C'est comme si on donnait le plan de fabrication d'une protéine, l'ADN, à une microscopique usine de production, la bactérie.

Ne reste qu'à cultiver la bactérie. On parle de **culture cellulaire**, c'est-à-dire de multiplier le nombre d'« usines » pour récolter des tonnes de copies d'enzymes qui lavent le linge!

Image tirée de *Chemistry World, RSC, 2022*.

Chapitre 2 : Le détergent

Digérer la saleté de ton linge

Les [premières enzymes pour nettoyer les vêtements](#) : un coup de cochon !

En 1913, Otto Rohm, un chercheur allemand, obtient un [brevet](#) pour ajouter à son détergent à lessive de la trypsine - une **enzyme digestive** extraite du pancréas de cochons! Quand on dit que laver son linge, c'est comme digérer de la nourriture... En 1985, 70 % des détergents à lessive européens contiennent déjà des enzymes!

Des enzymes d'ici

[Des entreprises basées au Québec](#) et au Canada **emploient des centaines de personnes** - dont de nombreux chimistes et biochimistes. À elle seule, Novozymes, leader mondial en production d'enzymes industrielles, emploie des milliers de technicien.nes de laboratoire, de biochimistes et de biologistes moléculaires, dont plusieurs sont basé.es à Ottawa et à Saskatoon.

Où trouver des enzymes pour nettoyer nos saletés ?

Partout ! Généralement, ces enzymes sont extraites de bactéries ou de champignons qui vivent dans des conditions similaires à celles au lavage. Pour trouver une lipase nettoiyante, le Centre National en Électrochimie et en Technologies Environnementales de Shawinigan s'est tourné vers... des **casse-croûtes à patates frites** ! Ils y ont trouvé des lipases aussi efficaces pour digérer le gras que les autres enzymes commerciales.

Avantages des enzymes pour nettoyer

Les enzymes industrielles sont fabriquées par des procédés biotechnologiques qui peuvent être coûteux. Cependant, selon Ali Kademi, directeur assurance qualité chez Innuscience, les enzymes sont **efficaces en très petites quantités**, ce qui rend le lavage plus vert. D'une part, on **remplace des produits chimiques potentiellement nocifs** par des enzymes biodégradables. D'autre part, on peut **laver à l'eau froide plus efficacement**. C'est pourquoi la majorité des détergents à lessive du Québec contiennent des enzymes.

Des enzymes digestives mutantes aux superpouvoirs étonnants

Aujourd'hui, des scientifiques travaillent à améliorer les enzymes pour qu'elles soient toujours [plus efficaces, plus résistantes au froid ET au chaud \(15-60°C\)](#) et [moins coûteuses à produire](#). Comment faire pour améliorer des enzymes ? On procède généralement par [évolution dirigée](#), c'est-à-dire qu'on fait au hasard de nombreuses versions mutantes du gène codant pour une enzyme. On obtient ainsi une [banque d'enzymes, dont la séquence en acides aminés a été légèrement modifiée](#). Puis, on teste les enzymes mutantes pour trouver les plus puissantes pour laver le linge!

Comment sait-on si un détergent lave bien?

Chaque échantillon de tissu est taché de manière identique, ce qui permet de comparer l'efficacité de différents détergents.

Les enzymes, [c'est payant](#) !

Selon Ali Kademi, directeur assurance qualité chez Innuscience, en 2017, le marché mondial des enzymes dans les détergents était estimé à... **1,7 milliard de dollars canadiens** ! En 2021, on en était à [plus de 14 milliards de dollars canadiens](#) ! Payant, faire du lavage !

Chapitre 3 : Le plastique

Digérer la pollution plastique

Il y a tellement de plastique partout sur Terre que des bactéries ont appris à le digérer pour se nourrir! Et qui dit digestion, dit bien sûr enzymes! Certaines enzymes digèrent le plastique no 5 (polypropylène, PP), d'autres le no 6 (polystyrène, PS), le fameux styromousse.

Et certaines enzymes digèrent le plastique no 1, un des plastiques les plus utilisés au monde, en ses composantes originales. L'entreprise française Carbios tente d'ailleurs [de refaire des bouteilles](#) à partir de plastique no1 « digéré », un peu comme notre corps qui se construit grâce aux aliments qu'on digère. Dans son laboratoire, une étudiante britannique a même utilisé des [enzymes pour transformer du plastique en saveur de vanille](#) ! Comme quoi ça commence à sentir bon pour les enzymes, littéralement.

L'IA pour construire des enzymes plus efficaces

En 2022, une intelligence artificielle de Google – *AlphaFold* - a [prédit la forme 3D de 200 millions de protéines - essentiellement toutes celles qu'on connaît](#) ! En laboratoire, confirmer la forme 3D d'une seule protéine demande des années de travail ! C'est comme si depuis des années, on essayait de fabriquer les constructions de la compagnie LEGO^{md} à partir d'une boîte de blocs... mais sans les plans. Et tout d'un coup, on tombe sur une bibliothèque avec tous les plans possibles et imaginables de LEGO^{md} !

Bon, à quoi ça sert de trouver la forme 3D des protéines ? Bonne question. La fonction d'un robot dépend de sa forme : ses bras, ses jambes et tous les outils qu'on lui branche. C'est la même chose pour les protéines : leur fonction dépend de leur forme, et des outils qu'on leur ajoute. En théorie, comme pour des [LEGO^{md}](#), on peut imaginer des protéines pour à peu près toutes les tâches possibles. Et avec un méchant bon logiciel comme *Alpha Fold* pour nous aider à les dessiner, les possibilités sont infinies.

Aucun modèle n'est parfait ! Les inexactitudes du jeu ENZYMO

Chapitres 1 et 2

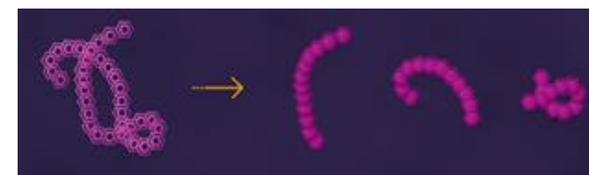
Enzymes à têtes chercheuses : les **glandes digestives** (et le **tuyau de la laveuse**) ne visent pas les aliments avec les enzymes comme un canon. Les **glandes** libèrent les enzymes dans des **canaux** branchés au tube digestif. Au gré du **brassage** et du **péristaltisme**, les enzymes entrent en contact avec les aliments et les décomposent. Un peu comme si l'estomac faisait un *smoothie* moléculaire.



Dégradation des enzymes : les enzymes digestives ne se dégradent pas instantanément après leur action dans le tube digestif. Elles y restent quand même [quelques heures](#) où elles restent actives avant de se décomposer.

Digestion des aliments en 3 sections : Les aliments ne sont pas précisément digérés en 3 chaînes à chaque étape du tube digestif. Dans la vraie vie, pour chaque nutriment, il existe plusieurs enzymes qui coupent à différents endroits sur la chaîne de l'**aliment**. Certaines **enzymes** ne coupent la chaîne qu'à ses extrémités. D'autres ne coupent que des groupes de deux nutriments. Reste que, comme dans le jeu, plus on descend dans le tube digestif, plus les chaînes d'aliments raccourcissent.

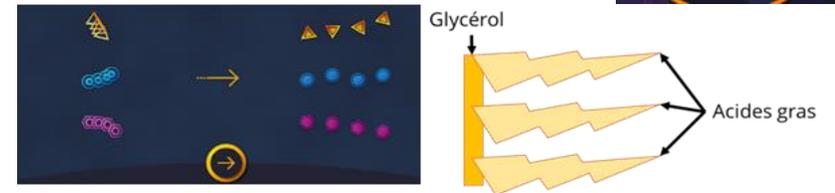
Longueur des chaînes d'aliments : les chaînes d'aliments sont souvent beaucoup plus longues que le maximum de 32 unités dans le jeu. Les **protéines**, dont la digestion débute dans l'**estomac**, sont généralement composées de [50 à 2000 acides aminés](#) ! Ces chaînes sont aussi beaucoup plus souples que dans le jeu.



Production des enzymes par les glandes digestives : Pas besoin de « cliquer » sur ton ventre pour produire des enzymes. Ton tube digestif a des capteurs qui perçoivent l'arrivée des aliments et qui indiquent à tes glandes de les produire.



Les lipides : La plupart des **lipides** viennent sous forme de 2 ou 3 **acides gras** branchés à un **glycérol** (voir image ci-contre). Leur digestion sépare les acides gras des lipides, ce qui facilite leur absorption.



La digestion des lipides - la bile et les lipases : Contrairement à ce qu'on voit dans le jeu, bile et lipases ne suivent pas l'une l'autre dans le tube digestif. En effet, la bile est libérée par le foie, et la lipase par le pancréas. Elles agissent donc à tour de rôle, au hasard des mouvements du **brassage** et du **péristaltisme**.



Là où ça ne digère pas ? Il n'y a pas de transformations chimiques dans le **pharynx**, l'**œsophage** et le **gros intestin**. Cela est tout simplement dû au fait qu'il n'y a pas de glandes associées à ces sections du tube digestif.

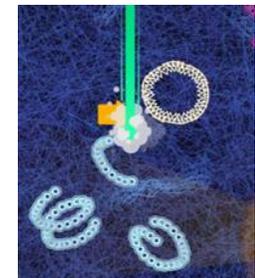
Et le microbiote ? Les bonnes bactéries de notre tube digestif aident à digérer des nutriments qu'on ne peut absorber directement, comme certaines fibres alimentaires.

Les aliments et les enzymes n'ont pas de couleur. Dommage!

Chapitre 2

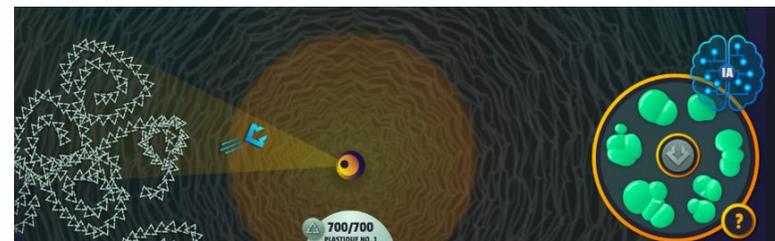
La laveuse n'utilise pas le savon sur commande. Le savon est dissout dans l'eau de la laveuse et détache progressivement les aliments.

Les taches d'aliments sont bel et bien collées au tissu. Dans le jeu, les taches tournent plus vite que le tissu en arrière-plan, ce qui ne devrait pas être le cas.



Chapitre 3

Enzymes à têtes chercheuses : L'IA ne « téléguide pas les enzymes » sur les chaînes de plastique. L'IA aide à concevoir rapidement des enzymes plus résistantes et plus efficaces. Au gré du brassage, comme dans le tube digestif, les enzymes entrent en contact avec les chaînes de plastique, puis les décomposent.



AUTRES RÉFÉRENCES EN PLUS DES HYPERLIENS DANS LE TEXTE

Plusieurs dizaines de millions de protéines qui s'activent à chaque instant ! Voici les études à ce sujet [en anglais] :

- [Science daily](#)
- [NCBI](#)

Les premières enzymes dans les détergents [en anglais] : [Chemical and Engineering News](#)

Le marché mondial des enzymes en pleine croissance [en anglais] : [Grand View Research](#)

La digestion du plastique PET par des enzymes, des études à ce sujet. [en anglais] :

- [NCBI](#)
- [Science daily](#)
- [Nature](#)

QUELQUES INFORMATIONS POUR COMPRENDRE L'OUTIL

PÉDAGOGIE OUVERTE

Une pédagogie ouverte est une façon d'enseigner qui place l'élève dans une démarche où il doit faire des choix, ce qui lui permet de développer ses connaissances et compétences. Une démarche peut être structurée, mais la façon de la traverser accorde de l'espace aux découvertes, aux essais-erreurs, à la créativité des élèves...

- La pédagogie ouverte: Définition, objectifs et principes, <https://www.profinnovant.com/la-pedagogie-ouverte-definition-objectifs-et-principes/>

APPROCHE CULTURELLE DE L'ENSEIGNEMENT

Cette approche propose d'utiliser, en lien avec une SAE, une mise en situation qui parle d'une thématique marquante de la société ou de son histoire. La thématique donne un sens réel aux apprentissages et apporte de la cohésion puisque utilisée à toutes les étapes de la SAE.

- RIRE-CTREQ. Agir comme passeur culturel en classe pour donner du sens aux apprentissages, <http://rire.ctreq.qc.ca/2020/07/passeur-culturel-en-classe/>

FEUILLE DE L'ÉLÈVE

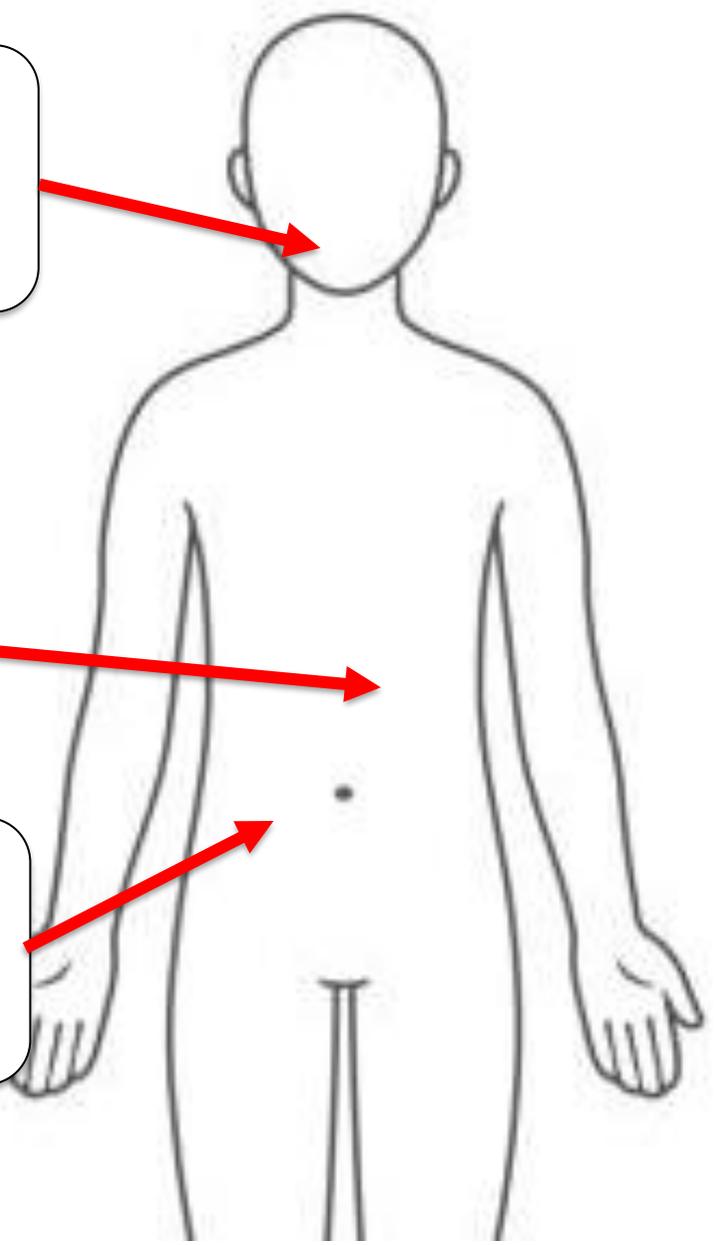
Chapitre 1 : La digestion

Schéma du tube digestif à compléter →

Bouche - Enzyme

Estomac - Enzyme

Intestins grêles - Enzymes



Nomme 3 enzymes du tube digestif,
et l'aliment qu'elles digèrent

1. _____
2. _____
3. _____

Chapitre 2- Le détergent

Nomme 3 enzymes qu'on trouve dans des détergents, mais pas dans le système digestif humain

1. _____

2. _____

3. _____

Comment les enzymes des détergents sont-elles bonnes pour l'environnement ?

Chapitre 3 – Le plastique

En quoi la décomposition du plastique dans le jeu ressemble à la digestion des aliments ?

Nomme deux similitudes.

1. _____

2. _____