

DOCUMENT DE TRAVAIL – JUIN 2012

Sciences de la vie et de la Terre Enseignement de spécialité

Thème 1 : Energie et cellule vivante

Table des matières

1. Préambule	1
1-1 Les acquis antérieurs.....	1
1-1 1 Les acquis en SVT.....	1
1-1 2 les acquis en SPC	2
1-2 Les fondements scientifiques de la problématique	2
2. Supports pour des démarches d'investigation	3
2-1 Comprendre l'utilisation de l'énergie lumineuse par les systèmes vivants : la photosynthèse.....	3
2-2 Comprendre l'utilisation de molécules organiques afin de récupérer de l'énergie utilisable (ATP) : la respiration cellulaire et la fermentation.....	4
2-3 Comprendre la réalisation d'une activité cellulaire : la contraction musculaire	5
3. Ressources documentaires	7
3-1 Bibliographie	7
3-2 Sitographie	7
3-3 Animations et logiciels	8

1. Préambule

1-1 Les acquis antérieurs

En classe de Terminale, le parcours scolaire et personnel de l'élève lui permet de disposer de solides éléments d'information établis dans l'objectif de comprendre le monde. Cette compréhension a fait appel à de nombreuses reprises au concept d'énergie aussi bien en sciences de la vie et de la Terre, qu'en sciences physiques et chimiques et en technologie. La mise en cohérence préalable de ces connaissances est nécessaire à l'approche de la **problématique de l'énergétique à l'échelle cellulaire** du thème 1 du programme de spécialité.

1-1.1 Les acquis en SVT

Les composants des systèmes vivants se transforment en permanence. Ces **transformations** sont source d'effets repérables à différentes échelles. Ainsi, à l'**échelle de la biosphère**, les êtres vivants interviennent dans le cycle du carbone, du dioxygène ou de l'eau. A l'**échelle des écosystèmes**, la matière est transformée au sein des réseaux trophiques. A l'**échelle des organismes**, les différentes fonctions sont réalisées grâce à des processus spécifiques de la vie. Enfin, à l'**échelle cellulaire** se déroulent diverses réactions métaboliques.

A l'origine de ces transformations, **diverses formes d'énergie** peuvent être identifiées. Il s'agit de l'énergie lumineuse provenant du soleil et de l'énergie chimique.

Les végétaux chlorophylliens nécessitent de l'énergie solaire pour synthétiser leur propre matière grâce à la photosynthèse. Cette matière est utilisée par les organismes non chlorophylliens. Les échanges gazeux respiratoires présents chez nombre d'organismes sont un indice d'une libération d'**énergie chimique** à partir de la matière. La contraction musculaire met en œuvre une **énergie mécanique**. Il existe ainsi, à l'échelle de la biosphère et des écosystèmes, un **flux énergétique** intimement lié aux **cycles de la matière** permettant de passer de l'énergie lumineuse à l'énergie chimique et mécanique.

1-1 2 Les acquis en SPC

Le thème « Énergie et cellule vivante » remobilise des notions abordées dans le programme de Sciences **physique et chimique de première S** dans les deux domaines suivants.

Matière et énergie : Énergie chimique libérée (lors d'une combustion), formes d'énergie et principe de conversion d'énergie, stockage et conversion de l'énergie chimique, réaction d'oxydoréduction.

Lumière et matière : Émission, absorption, énergie d'un photon, spectre solaire, caractéristiques des molécules organiques colorées. Cet aspect est complété en **TS** par une partie consacrée à l'analyse spectrale.

1-2 Les fondements scientifiques de la problématique

« Tout système vivant échange de la matière et de l'énergie avec ce qui l'entoure. Il est le siège de couplages énergétiques. »

La **cellule** apparaît comme un système vivant échangeant matière et énergie avec son environnement, il est assimilable à un **système thermodynamique ouvert**.

Différentes catégories de cellules peuvent être distinguées en fonction des molécules et des formes d'énergie qu'elles échangent avec leur environnement.

Les **cellules chlorophylliennes** présentent la capacité d'utiliser de l'énergie lumineuse afin de synthétiser des molécules organiques à partir de molécules minérales. L'énergie lumineuse est convertie en énergie chimique (conversion photochimique). L'étape clef en est un **couplage photochimique** impliquant la chlorophylle.

Utilisant l'énergie lumineuse comme source d'énergie, ces cellules chlorophylliennes sont **phototrophes**. Elles font entrer l'énergie dans la quasi-totalité des écosystèmes terrestres. Utilisant le CO₂ en tant que source de carbone, elles sont **autotrophes pour le carbone**

L'entrée d'énergie dans les **autres cellules eucaryotes** s'effectue directement sous forme chimique. Ces autres cellules sont **chimiotrophes**. Utilisant des molécules organiques pour produire leurs propres molécules organiques, elles sont **hétérotrophes pour le carbone**.

Toutes les cellules, qu'elles soient photosynthétiques ou non, oxydent les molécules organiques récupérant ainsi de l'énergie chimique pour produire de l'ATP. Différentes formes de couplages sont mis en jeu (couplage chimiochimique, chimioosmotique et osmochimique). Seule l'implication de **couplages chimiochimiques** figure au programme.

L'ATP ainsi produit est une forme d'énergie chimique utilisable pour toutes les activités cellulaires, ceci grâce à différents types de couplages.

Par exemple, dans la cellule musculaire, l'énergie chimique de l'ATP est convertie en mouvement ou énergie mécanique grâce à un **couplage chimiomécanique** impliquant des protéines motrices.

Les transferts d'énergie dans les cellules s'opèrent donc grâce à des couplages dont trois types sont abordés dans le cadre du programme : **couplages photochimique, chimiochimique et chimiomécanique**.

2. Supports pour des démarches d'investigation

Identification des activités proposées :

[Hist] : Démarche historique

[Exp] : Démarche expérimentale

[Obs] : Démarche d'observation

[Doc] : Démarche documentaire

[Num] : Outils numériques

2-1 Comprendre l'utilisation de l'énergie lumineuse par les systèmes vivants : la photosynthèse

« La cellule chlorophyllienne effectue la photosynthèse grâce à l'énergie lumineuse »

[Hist] Suivi du carbone issu de $^{14}\text{CO}_2$ chez un végétal afin d'identifier l'origine du carbone organique.

[Exp] Suivi des échanges d' O_2 et de CO_2 par ExAO (ou autre méthode et réactifs) afin de repérer la consommation du CO_2 et la production d' O_2 au cours de la photosynthèse.

[Exp] Coloration par de l'eau iodée de feuilles exposées ou non à la lumière durant plusieurs heures (expérimentation sur des feuilles panachées, Coléus, Géranium) afin d'identifier le besoin de lumière, de chlorophylle pour réaliser la synthèse d'une molécule organique : l'amidon.

[Obs] Observation microscopique de feuilles (coupe de feuille fraîche, feuille d'Élodée) afin de préciser la localisation de la chlorophylle dans les cellules chlorophylliennes.

Innovations techniques [1]

Lampe halogène à hauteur réglable

« Le chloroplaste est l'organe clé de cette fonction »

[Doc] Observation d'électronographies de chloroplastes afin de repérer leur microstructure.

[Doc] ou [Obs] Observation de feuilles d'Élodée colorées à l'eau iodée au microscope optique pour localiser la synthèse d'amidon dans le chloroplaste.

[Exp] Réalisation d'une chromatographie d'un extrait de feuilles, sur papier ou sur colonne afin de mettre en évidence l'existence d'une diversité de pigments.

[Exp] Réalisation d'un spectre d'absorption d'une solution de chlorophylle brute afin de mettre en évidence les propriétés des pigments vis-à-vis de la lumière.

[Exp] Réalisation de spectres d'absorption des pigments séparés par chromatographie afin de repérer la contribution des différents pigments dans le spectre d'absorption total.

[Exp] ou [Doc] Étude expérimentale (ExAO) de l'intensité photosynthétique en éclairant avec différentes radiations lumineuses afin de déterminer l'efficacité photosynthétique des radiations absorbées par les pigments.

Innovations techniques

Spectrophotomètre relié par USB [2]

Éclairage monochromatique sur lampe halogène à hauteur réglable [3]

Amplificateur d'électrode avec utilisation d'un pH mètre en tant que sonde à CO_2 [4]

Enceinte cellulaire à miroir et éclairage LED [5]

Ampoules LED 16 couleurs et haute luminosité [6]

« La phase photochimique produit des composés réduits RH_2 et de l'ATP »

[Hist] Étude de résultats expérimentaux (Expérience de Gaffron), afin de repérer l'existence de deux phases (phase photochimique et phase chimique)

[Exp] et [Hist] Expérimentation ExAO : Expérience de Hill sur des thylakoïdes isolés pour mettre en évidence la nécessité d'un composé intermédiaire pouvant être réduit (accepteur d'électrons) localisé dans le stroma.

[Hist] Étude de résultats expérimentaux (Expérience d'Arnon) afin de préciser la localisation de chaque phase et la nature des molécules intermédiaires produites (composé réduit et ATP).

[Hist] Comparaison de potentiels redox de couples redox mis en jeu. ($\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$; $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$; R/RH_2) pour repérer la nécessité de l'apport d'énergie lumineuse afin que l'oxydation de l' H_2O en O_2 soit couplée à la réduction du Fe^{3+} en Fe^{2+} (Expérience de Hill) ou de R en RH_2 (in vivo).

« La phase chimique produit du glucose à partir du CO_2 en utilisant les produits de la phase photochimique »

[Hist] Étude de l'expérience de Calvin et Benson révélant par chromatographies bidimensionnelles puis autoradiographies les molécules dans lesquelles s'intègre successivement le carbone issu du CO_2 .

[Hist] Étude des expériences de Bassham et Calvin (suivi du Ru1-5bisP et de l'APG lors du passage à l'obscurité ou à un milieu sans CO_2) pour construire une partie du cycle de Calvin et Benson.

2-2 Comprendre l'utilisation de molécules organiques afin de récupérer de l'énergie utilisable (ATP) : la respiration cellulaire et la fermentation

«La plupart des cellules eucaryotes (y compris les cellules chlorophylliennes) respirent : à l'aide de dioxygène, elles oxydent la matière organique en matière minérale»

[Exp] Étude du métabolisme de parties chlorophylliennes et non chlorophylliennes d'un végétal en présence ou en l'absence de lumière par ExAO pour repérer que la respiration se déroule dans toutes les cellules.

[Doc] Observation comparée d'électronographies de cellules de levures en aérobiose et anaérobiose afin de repérer les différences entre les organites les constituant.

«La mitochondrie joue un rôle majeur dans la respiration cellulaire. L'oxydation du glucose comprend la glycolyse (dans le hyaloplasme) puis le cycle de Krebs (dans la mitochondrie) : dans leur ensemble, ces réactions produisent du CO_2 et des composés réduits $\text{R}'\text{H}_2$

[Exp] Mesure de l'efficacité respiratoire de différents substrats chez la levure ou sur des mitochondries isolées par ExAO afin de :

- Distinguer respiration cellulaire et mitochondriale
- Montrer la nécessité de la dégradation du glucose dans le hyaloplasme
- Mettre en évidence l'utilisation finale du dioxygène dans le processus respiratoire

[Exp] [Hist] Transposition en ExAO de certaines expériences historiques de Krebs sur des mitochondries isolées afin de repérer l'existence d'un intermédiaire entre la glycolyse et la chaîne respiratoire, par exemple :

- Action du succinate, malate, oxaloacetate : activation de la respiration.
- Action du malonate (inhibiteur de l'oxydation du succinate en fumarate) : inhibition de la respiration.

«La chaîne respiratoire mitochondriale permet la réoxydation des composés réduits ainsi que la réduction de dioxygène en eau. Ces réactions s'accompagnent de la production d'ATP qui permet les activités cellulaires. [Le détail des réactions chimiques, les mécanismes de la chaîne respiratoire et la conversion chimio-osmotique ne sont pas au programme.] »

[Exp] [Hist] Utilisation de poisons métaboliques afin de déterminer l'ordre d'intervention des complexes dans le fonctionnement de la chaîne respiratoire.

[Exp] Extraction et dosage de l'ATP de levures placées dans différentes conditions par bioluminescence (luciférase) pour quantifier la production d'énergie par la cellule.

[Num] Etude de la structure des molécules impliquées dans le métabolisme (ATP, ADP, NAD, NADH) avec un logiciel de modélisation moléculaire pour comprendre leurs propriétés.

« Certaines cellules eucaryotes réalisent une fermentation. L'utilisation fermentaire d'une molécule de glucose produit beaucoup moins d'ATP que lors de la respiration »

[Exp] Suivi d'une fermentation alcoolique chez la levure, caractérisation et dosage des produits formés afin d'établir une équation-bilan.

[Exp] Suivi de la fermentation alcoolique chez la levure en fonction de la nature ou de la concentration en substrat, de la température, du pH, de la disponibilité en O₂ afin d'en déterminer les conditions optimales.

[Hist] Recherche documentaire sur les découvertes principales de Pasteur à propos de la fermentation (en les resituant dans leur contexte historique) afin de comprendre leur importance scientifique.

[Exp] Extraction et dosage par bioluminescence de l'ATP de levures placées en aérobiose et en anaérobiose pour quantifier et comparer la production d'ATP de la respiration et de la fermentation.

[Exp] Réalisation d'un extrait enzymatique de levure (possibilité de mutants) et caractérisation à l'aide d'une galerie API afin de repérer la diversité des enzymes impliquées dans le métabolisme.

[Num] et [Doc] Recherche documentaire sur les utilisations de la fermentation dans le domaine de l'agro-alimentaire (vins, cidres, bières, pains...) pour saisir l'intérêt de l'utilisation de ce procédé métabolique dans l'industrie.

[Exp] Modification des conditions d'une fermentation (panification, production de bioéthanol...) afin de comprendre les effets de l'environnement sur la réalisation des réactions métaboliques.

[Exp] Utilisation du modèle de la bactérie lactique afin de repérer l'acidification du milieu en relation avec la production d'un acide par fermentation lactique. [7]

2-3 Comprendre la réalisation d'une activité cellulaire : la contraction musculaire

« La fibre musculaire utilise l'ATP... »

[Exp] Recherche d'ATP dans un muscle de bœuf (steack) par bioluminescence (grâce au complexe luciférine – luciférase) pour repérer sa présence et dosage par utilisation d'une courbe-étalon. [8]

[Exp] Suivi de la contraction du muscle gastrocnémien de lombric par un microkinétomètre avant et après ajout d'ATP afin de repérer sa nécessité dans la contraction. [9]

[Obs] Utilisation du modèle de la cyclose de chloroplastes en présence / absence d'inhibiteur de la production d'ATP (acide cyanhydrique) afin de relier utilisation d'ATP et mouvement.

[Doc] Etude de résultats expérimentaux sur la tension de myofibrilles en présence d'ATP et d'un inhibiteur de son utilisation (salyrgan) afin de repérer la nécessité de l'ATP pour la contraction.

[Doc] Suivi de la concentration musculaire d'ATP avant et après contraction afin de montrer le maintien de sa disponibilité.

« ...fourni, selon les circonstances, par la fermentation lactique ou la respiration. »

[Doc] Etude de la variation de l'intensité respiratoire au cours d'un exercice à l'échelle de l'organisme afin de relier consommation d'O₂ et énergie nécessaire à la contraction (cf programme de seconde).

[Doc] Observation d'électrographies de muscle. Comparaison de fibres musculaires lentes et rapides afin de relier ultrastructures cellulaires et voie de régénération de l'ATP.

[Doc] Suivi chronologique de la consommation de dioxygène afin de mettre en évidence la régénération de l'ATP par différentes voies successives.

[Exp] Recherche et dosage du glycogène musculaire afin de montrer la présence de réserves énergétiques.

[Doc] Suivi des concentrations en glycogène dans la cellule musculaire afin de repérer l'utilisation de réserves énergétiques.

[Doc] Suivi des concentrations plasmatiques en acide lactique au cours de l'effort pour repérer une fermentation lactique au niveau musculaire.

[Doc] Suivi de la glycémie et des pressions partielles en O_2 et CO_2 dans les artérioles et veinules au contact du muscle pour repérer la consommation de glucose et les échanges gazeux à l'effort, témoins de la respiration.

[Doc] Comparaison des propriétés des fibres rapides et lentes au cours de la contraction afin de les relier aux différentes voies de régénération de l'ATP.

« L'hydrolyse de l'ATP fournit l'énergie nécessaire aux glissements de protéines les unes sur les autres qui constituent le mécanisme moléculaire à la base de la contraction musculaire »

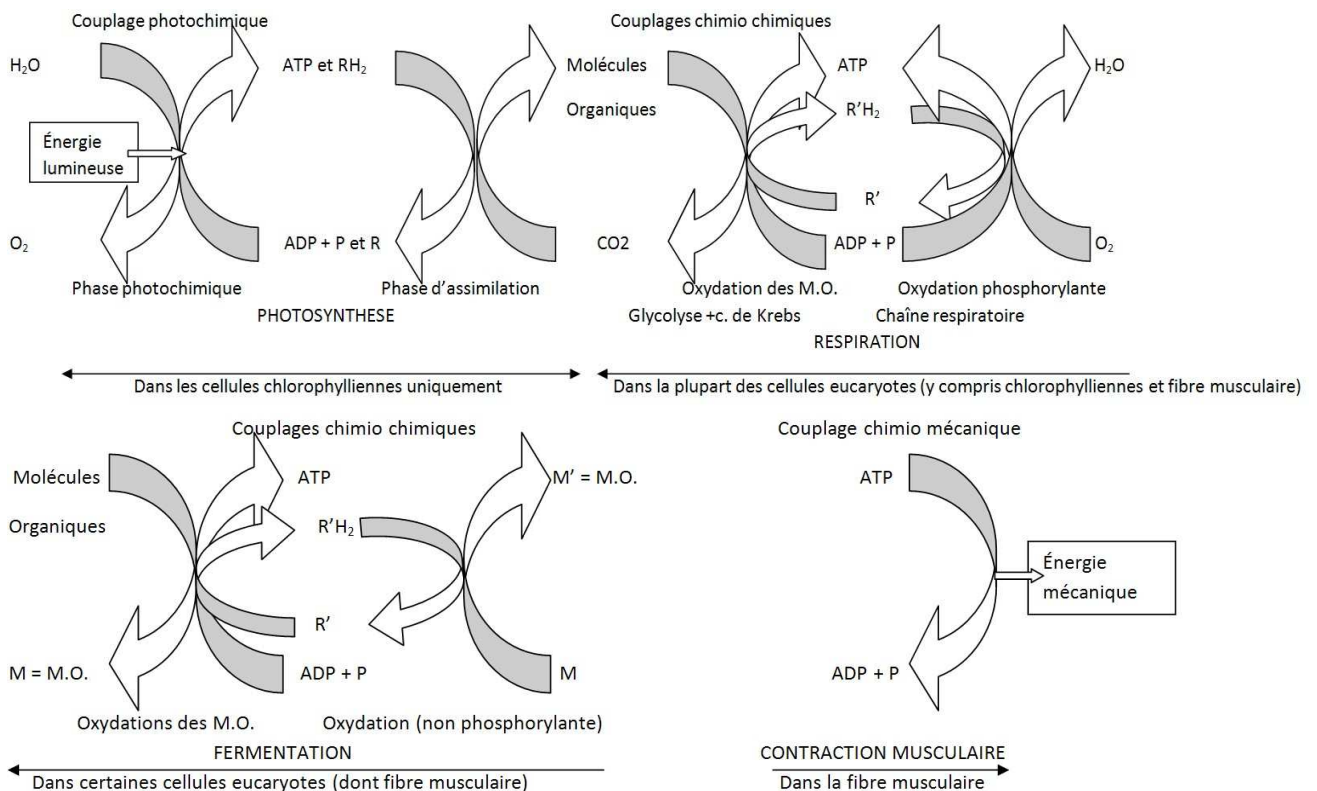
[Obs] Étude en microscopie optique de muscle cuit ou cru dilacéré ou de coupes transversales et longitudinales de muscle permettant de repérer une striation transversale et longitudinale de la cellule musculaire.

[Doc] Étude en microscopie électronique de sarcomères dans une fibre relâchée ou contractée pour identifier leurs filaments protéiques constitutifs et comprendre leur déplacement au cours de la contraction

[Num] Animation montrant les relations entre actine et myosine dans le cycle attachement / pivotement pour préciser le rôle de l'ATP dans les interactions moléculaires au sein des sarcomères et donc le couplage chimio-mécanique.

« L'ATP joue un rôle majeur dans les couplages énergétiques nécessaires au fonctionnement des cellules. [L'étude préalable des différents exemples du programme permet d'aboutir à une conclusion générale qui ne génère pas en elle-même d'étude complémentaire.] »

Schémas récapitulant les couplages présentés dans le cadre du programme



3. Ressources documentaires

3-1 Bibliographie

- Expérimentation en biologie et physiologie végétales (2007)
Roger Prat Hermann
- Ouvrage récent de protocoles expérimentaux notamment sur les pigments, respiration et fermentation, photosynthèse
- Physiologie végétale : Tome 1 Nutrition Heller et al Dunod
Physiologie végétale Hopkins De Boeck
- Ouvrages de référence en physiologie végétale
- La photosynthèse : processus physiques, moléculaires et physiologique (2011)
Farineau et al. Quae éditions
- Ouvrage très complet et actuel sur le sujet
- Travaux pratiques de biologie Didier Pol Editions Bordas
Protocoles expérimentaux
- Physiologie du sport et de l'exercice Costill Nathan
Adaptations physiologiques à l'effort
- Physiologie du sport Masson
Bases physiologiques des activités physiques et sportives
- Biologie-Géologie APBG n°2 1997 p271 Salviat et al.
La respiration du muscle broyé : expériences de Krebs transposées pour l'ExAO
- Biologie-Géologie APBG n°1 1994 p93 Didier Pol
Un outil pédagogique original : la bioluminescence
- Pour la science 10/2000 N°276
L'adaptation du muscle à l'entraînement, par André-Xavier Bigard.

3-2 Sitographie

- <http://svt.spip.ac-rouen.fr/>
Page présentant le matériel d'expérimentation disponible chez les différents fournisseurs et des pistes de TP (numéros entre crochets)
- http://eduscol.education.fr/pid23202-cid46522/programmes-du-cycle-terminal-de-la-voie-generale.html#serie_S%201ere
Pages d'accès aux programmes du cycle terminal de la voie générale du lycée
- <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Photosynthese-cours/01-organismes.htm>
<http://ead.univ-angers.fr/~jaspard/Page2/COURS/Zsuite/2Photosynthese/1Photosynthese.htm>
Cours d'université sur la photosynthèse
- http://www.bips-edu.fr/main.php?g2_itemId=17403
Banque d'images pédagogiques CRDP Poitou Charente
- http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/rubrique.php3?id_rubrique=3
Banque de schémas du site de l'académie de Dijon, partie consacrée à l'énergétique dont dispositifs et résultats expérimentaux
- <http://www.didier-pol.net/protocol.htm>
Divers protocoles expérimentaux
- <http://bioluminescence.free.fr/dosatp.htm>
Dosage de l'ATP par bioluminescence
- <http://svt.ac-creteil.fr/?option=sciences-experimentales-svt,791>
Galeries API
- <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Metabo/>
<http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Photosynthese/>
<http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Chloroplaste/>

Explications sur le métabolisme, photosynthèse et chloroplaste.

<http://www.ruf.rice.edu/~bioslabs/studies/mitochondria/oxystudies.html>

Différents expériences sur des mitochondries isolées

<http://www2.ac-lyon.fr/enseigne/biologie/spip.php?article199>

Préparation de mitochondries isolées

[http://www.pedagogie.ac-](http://www.pedagogie.ac-nantes.fr/1171186071109/0/fiche___ressourcepedagogique/&RH=1160731039203)

[nantes.fr/1171186071109/0/fiche___ressourcepedagogique/&RH=1160731039203](http://www.pedagogie.ac-nantes.fr/1171186071109/0/fiche___ressourcepedagogique/&RH=1160731039203)

Protocoles sur l'utilisation du pyruvate par les mitochondries (ExAO)

<http://www2.ac-lyon.fr/enseigne/biologie/spip.php?article273>

Utilisation de succinate par les mitochondries (ExAO) et blocage par l'antimycine de la chaîne respiratoire

<http://jean-jacques.auclair.pagesperso-orange.fr/travaux/exper/fermentation/fermentation.htm>

Protocoles pour l'étude de la fermentation alcoolique (dosages enzymatiques)

http://ispb.univ-lyon1.fr/mycologie/Site_lab0_myco/Enseignement/3/Biotechnologie02.htm

Utilisation des fermentations en agroalimentaire

http://www.inra.fr/la_sci0nce_et_vous/apprendre_experimenter/aliments_fermentes/

Les aliments fermentés

<http://www.bioethanolcarburant.com/index.php/bioethanolcarburant>

Informations sur le bioéthanol

<http://www.pasteur.fr/ip/easysite/pasteur/fr/institut-pasteur/histoire/l-oeuvre-de-louis-pasteur>

Les travaux de Pasteur

http://openlibrary.org/books/OL24165461M/%C3%89tudes_sur_la_bi%C3%A8re

Texte original « Etudes sur la bière » de Pasteur

<http://jean-jacques.auclair.pagesperso-orange.fr/travaux/exper/ldh/ldh.htm>

<http://www.didier-pol.net/3MUSCLE2.html#MANIP>

Manipulations proposées en relation avec la contraction musculaire

http://biowiki.mbolduc1.ep.profweb.qc.ca/index.php/La_physiologie_musculaire

<http://coproweb.free.fr/pagphy/physioan/ch7s1.htm#top>

http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doscel/decouv/xtxt/zvie/muscuNiv2_1.htm

Données sur le muscle et la contraction musculaire

3-3 Animations et logiciels

<http://www.ac-grenoble.fr/svt/SITE/prof/outils/worksbio/mitoch.htm>

Feuille de calcul qui simule les expériences qui consistent à mettre des substrats ou des bloquants à une préparation de mitochondries et à observer l'évolution de la teneur en O₂ du milieu afin de retrouver la chaîne respiratoire. L'élève saisit la quantité de substance à mettre et le moment auquel il la met.

<http://www.biologieenflash.net/sommaire.html>

Animation sur la chaîne respiratoire

<http://www.toutsurlalevure.fr/>

Informations sur les levures, diverses expériences virtuelles

<http://www.inrp.fr/Access/biogeo/model3d/installechime.htm>

Plugin CHIME

<http://access.inrp.fr/acc0s/logiciels/externes/rastop>

Logiciel RASTOP

<http://librairiedemolecules.education.fr/>

Librairie de molécules en 3D

http://www.sci.sdsu.edu/movies/actin_myosin_gif.html

http://espace-svt.ac-rennes.fr/cartelec/cartelec_lyc/terminale_s/metabolisme/actine-myosine/actine-myosine.htm

Animations actine – myosine du site de l'académie de Rennes