



# éduscol



Ressources pour le lycée général et technologique

Ressources pour la classe terminale  
générale et technologique

---

## Sciences de la vie et de la Terre Série S Enseignement de spécialité

### Thème 1 Énergie et cellule vivante

Ces documents peuvent être utilisés et modifiés librement dans le cadre des activités d'enseignement scolaire, hors exploitation commerciale.

Toute reproduction totale ou partielle à d'autres fins est soumise à une autorisation préalable du Directeur général de l'enseignement scolaire.

La violation de ces dispositions est passible des sanctions édictées à l'article L.335-2 du Code de la propriété intellectuelle.

juillet 2012

## Sommaire

---

Préambule .....	2
Les bases épistémologiques .....	2
Abordées en SVT .....	2
Abordées en physique-chimie .....	2
Les fondements scientifiques .....	2
Supports pour l'investigation .....	4
Comprendre l'entrée de l'énergie lumineuse dans les systèmes vivants : la photosynthèse .....	4
Repérer le processus et identifier les structures impliquées.....	4
Préciser les structures cellulaires concernées et les molécules impliquées.....	4
Dévoiler le processus métabolique .....	4
Comprendre l'utilisation de molécules organiques afin de récupérer de l'énergie utilisable : la respiration cellulaire et la fermentation.....	5
Découvrir le devenir des molécules organiques source d'énergie .....	5
Identifier les structures cellulaires concernées et les processus métaboliques en jeu.....	5
Comprendre la réalisation d'une activité cellulaire source d'énergie mécanique : la contraction musculaire.....	6
Repérer l'énergie chimique dont disposent les cellules musculaires.....	6
Identifier les métabolismes permettant la mise à disposition d'énergie chimique aux cellules musculaires .....	6
Dévoiler le processus de conversion de l'énergie chimique en énergie mécanique .....	6
Ressources documentaires .....	7
Bibliographie .....	7
Sitographie.....	7
Animations et logiciels .....	8

## Préambule

---

La problématique à traiter dans le cadre du thème 1 du programme de spécialité interroge les modalités cellulaires du flux d'énergie dans les systèmes vivants. Elle identifie des couplages dans lesquels l'ATP joue un rôle majeur. Son traitement s'appuie sur des acquis épistémologiques construits les années précédentes et nécessite de maîtriser quelques bases scientifiques.

### Les bases épistémologiques

En classe terminale, le parcours scolaire et personnel de l'élève lui permet de disposer d'éléments d'information établis dans la perspective de comprendre le monde dans lequel il vit. Scolairement, 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 physique-chimie et en technologie. La mise en cohérence préalable de ces connaissances est nécessaire à l'approche de la problématique de ce thème. Elle permet l'ancrage de connaissances déjà mémorisées et l'ouverture sur un questionnement plus approfondi.

#### Abordées 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.

#### Abordées en physique-chimie

Le thème « Énergie et cellule vivante » remobilise des notions abordées dans le programme de **physique-chimie 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 **terminale S** par une partie consacrée à l'analyse spectrale.

### Les fondements scientifiques

**« 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 CO<sub>2</sub> 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**.

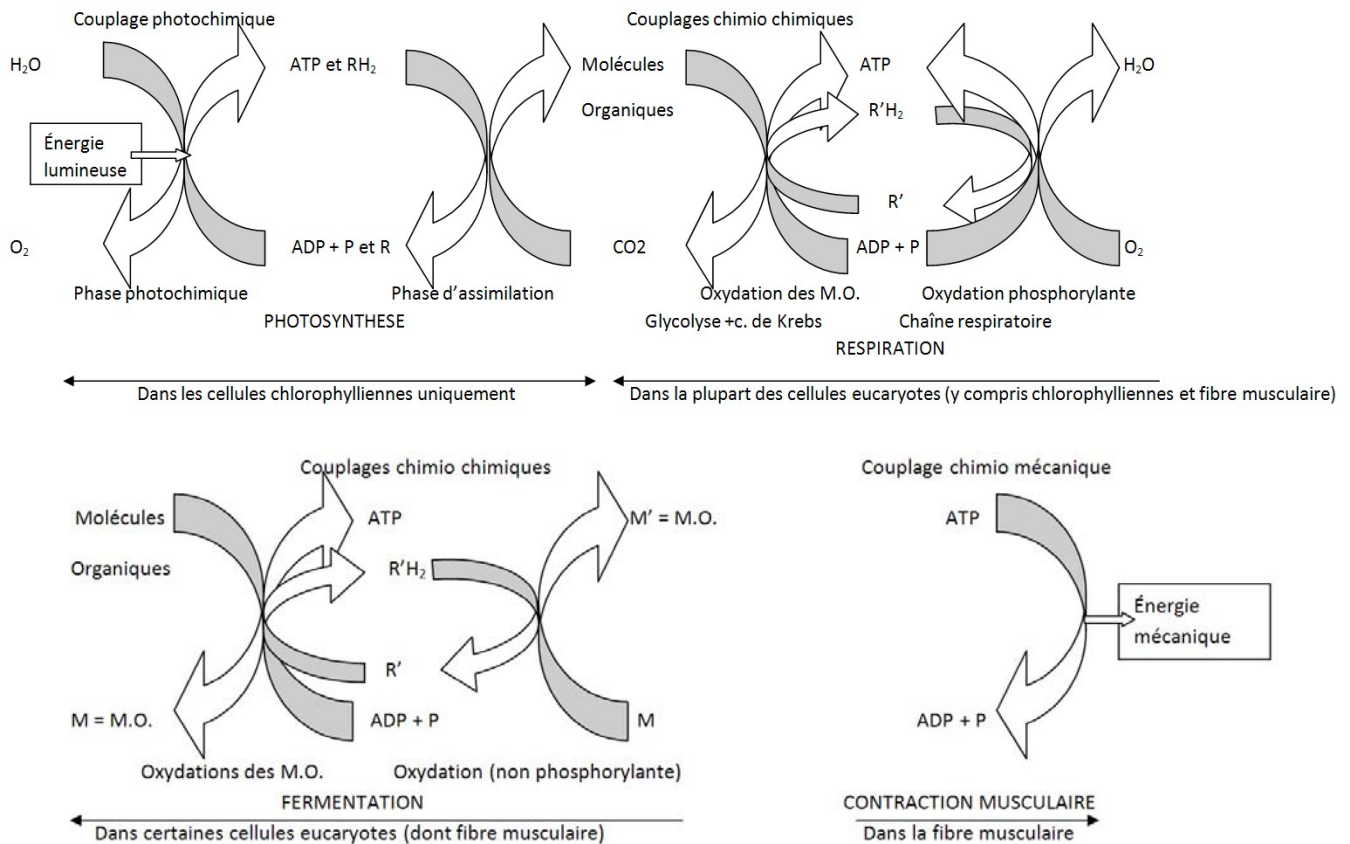
**Toutes les cellules**, qu'elles soient photosynthétiques ou non, oxydent les molécules organiques récupérant ainsi de l'énergie chimique pour produire de l'ATP. Différentes formes de couplages sont mis en jeu (couplage chimiochimique, chimioosmotique et osmochimique). Seule l'implication de **couplages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

**Schéma récapitulant les couplages énergétiques présentés dans le cadre du programme**



## Supports pour l'investigation

---

### Typologie des activités proposées :

[Hist] : Démarche historique

[Doc] : Démarche documentaire

[Exp] : Démarche expérimentale

[Num] : Outils numériques

[Obs] : Démarche d'observation

### Comprendre l'entrée de l'énergie lumineuse dans les systèmes vivants : la photosynthèse

#### Repérer le processus et identifier les structures impliquées

[Hist] Suivi des marquages isotopiques du carbone (CO<sub>2</sub>) afin de repérer son devenir.

[Exp] Suivi des échanges d'O<sub>2</sub> et de CO<sub>2</sub> par ExAO (ou autres méthodes) afin de repérer le lien entre consommation du CO<sub>2</sub>, production d'O<sub>2</sub> et photosynthèse.

[Exp] Coloration par de l'eau iodée de feuilles exposées ou non à la lumière durant plusieurs heures (expérimentation sur des feuilles panachées, Coleus, Géranium) afin d'identifier le lien entre besoin de lumière, de chlorophylle et 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

#### Préciser les structures cellulaires concernées et les molécules impliquées

[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 afin de localiser la synthèse d'amidon.

[Exp] Réalisation d'une chromatographie d'un extrait de feuilles, sur papier ou sur colonne, afin de connaître la nature de la chlorophylle brute.

[Exp] Réalisation d'un spectre d'absorption d'une solution de chlorophylle brute afin de repérer ses propriétés 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.

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

#### **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<sub>2</sub> [4]

Enceinte cellulaire à miroir et éclairage LED [5]

Ampoules LED 16 couleurs et haute luminosité [6]

#### Dévoiler le processus métabolique

[Hist] Étude de résultats expérimentaux (Expérience de Gaffron), afin de repérer les modalités d'action de la lumière sur le processus photosynthétique.

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

**[Exp] et [Hist]** Expérimentation ExAO : Expérience de Hill sur des thylakoïdes isolés afin de repérer les modalités du processus photosynthétique à ce niveau d'organisation du chloroplaste ainsi que celles de l'oxydation de l'eau en O<sub>2</sub>.

**[Hist]** Comparaison de potentiels redox de couples redox mis en jeu. (Fe<sup>3+</sup>/Fe<sup>2+</sup>; O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ; R/RH<sub>2</sub>) pour repérer la nécessité de l'apport d'énergie lumineuse afin de comprendre l'oxydation de l'H<sub>2</sub>O en O<sub>2</sub>

**[Hist]** Étude de l'expérience de Calvin et Benson afin de repérer les molécules dans lesquelles s'intègre le carbone issu du CO<sub>2</sub>.

**[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<sub>2</sub>) afin de suivre le mécanisme d'incorporation du CO<sub>2</sub>.

## **Comprendre l'utilisation de molécules organiques afin de récupérer de l'énergie utilisable : la respiration cellulaire et la fermentation**

### **Découvrir le devenir des molécules organiques source d'énergie**

**[Exp]** Étude du métabolisme de parties chlorophylliennes et non chlorophylliennes d'un végétal en présence ou en l'absence de lumière par ExAO afin de repérer les types cellulaires concernés par le métabolisme respiratoire.

**[Exp]** Suivi du métabolisme chez la levure en conditions aérobie et anaérobie avec caractérisation et dosage des produits formés afin d'identifier le devenir d'une molécule organique substrat : le glucose.

**[Exp]** Suivi de la fermentation alcoolique d'une part et de la respiration d'autre part chez la levure en fonction de la nature ou de la concentration en substrat, de la température, du pH, de la disponibilité en O<sub>2</sub> afin de déterminer les conditions d'une dégradation partielle et complète des molécules organiques.

**[Hist]** Recherche documentaire sur les découvertes principales de Pasteur à propos de la fermentation (en les situant dans leur contexte historique).

**[Num] et [Doc]** Recherche documentaire sur les utilisations de la fermentation dans le domaine de l'agro-alimentaire (vins, cidres, bières, pains...).

**[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 les spécificités de cette dégradation partielle du substrat organique. [7]

### **Identifier les structures cellulaires concernées et les processus métaboliques en jeu**

**[Doc]** Observation comparée d'électronographies de cellules de levures en aérobose et anaérobose afin d'interroger les différences entre les organites les constituant.

**[Exp]** Mesure de l'efficacité respiratoire de différents substrats chez la levure et sur des mitochondries isolées par ExAO afin de repérer les modalités du processus respiratoire.

**[Exp] [Hist]** Transposition en ExAO de certaines expériences historiques de Krebs sur des mitochondries isolées afin de préciser le processus 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.

**[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 (bioluminescence - luciférase) de levures placées dans différentes conditions pour repérer et quantifier la production d'énergie par la cellule.

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

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

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

## **Comprendre la réalisation d'une activité cellulaire source d'énergie mécanique : la contraction musculaire**

### **Repérer l'énergie chimique dont disposent les cellules musculaires**

**[Exp]** Recherche d'ATP dans un muscle de bœuf (steack) par bioluminescence (grâce au complexe luciférine – luciférase) pour repérer sa présence et le doser 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]** Étude 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.

### **Identifier les métabolismes permettant la mise à disposition d'énergie chimique aux cellules musculaires**

**[Doc]** Étude de la variation de l'intensité respiratoire au cours d'un exercice à l'échelle de l'organisme afin de relier consommation d'O<sub>2</sub> et énergie nécessaire à la contraction (cf programme de seconde).

**[Doc]** Observation d'électronographies de muscles. Comparaison de fibres musculaires lentes et rapides afin d'identifier les ultrastructures cellulaires impliquées.

**[Doc]** Suivi chronologique de la consommation de dioxygène afin de repérer les modalités de régénération de l'ATP.

**[Exp]** Recherche et dosage du glycogène musculaire afin d'interroger 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<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> 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.

### **Dévoiler le processus de conversion de l'énergie chimique en énergie mécanique**

**[Obs]** Étude en microscopie optique de muscle cuit ou cru dilacéré ou de coupes transversales et longitudinales de muscle afin de repérer l'organisation structurale permettant la contraction musculaire.

**[Doc]** Étude en microscopie électronique de sarcomères dans une fibre relâchée ou contractée pour 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.



## Ressources documentaires

---

### Bibliographie

PRAT, Roger, *Expérimentation en biologie et physiologie végétales*, Hermann, 2007.

Ouvrage récent de protocoles expérimentaux notamment sur les pigments, respiration et fermentation, photosynthèse.

HELLER, René, et al, *Physiologie végétale* : Tome 1 Nutrition, Dunod, 2004.

HOPKINS, *Physiologie végétale*, De Boeck, 2006.

Ouvrages de référence en physiologie végétale.

FARINEAU et al., *La photosynthèse : processus physiques, moléculaires et physiologique*, Quae éditions, 2011.

Ouvrage très complet et actuel sur le sujet.

POL, Didier, *Travaux pratiques de biologie*, Editions Bordas, 1994.

Protocoles expérimentaux.

COSTILL, David, L. et al., *Physiologie du sport et de l'exercice*, Nathan, 2006.

Adaptations physiologiques à l'effort.

FLANDROIS, Roland, et al., *Physiologie du sport*, Masson, 2007.

Bases physiologiques des activités physiques et sportives.

SALVIAT, Béatrice, et al., *Biologie-Géologie APBG n°2 p271*, 1997.

La respiration du muscle broyé : expériences de Krebs transposées pour l'ExAO.

POL, Didier, *Biologie-Géologie APBG n°1 p93*, 1994

Un outil pédagogique original : la bioluminescence.

BIGARD, André-Xavier, L'adaptation du muscle à l'entraînement, *Pour la science*, N°276, 2000.

### Sitographie

Pages présentant le **matériel d'expérimentation** disponible chez les différents fournisseurs et des pistes d'activités expérimentales (**numéros entre crochets**)

<http://svt.spip.ac-rouen.fr>

**Pages d'accès aux programmes du cycle terminal** de la voie générale du lycée

[http://eduscol.education.fr/pid23202-cid46522/programmes-du-cycle-terminal-de-la-voie-generale.html#serie\\_S%20term](http://eduscol.education.fr/pid23202-cid46522/programmes-du-cycle-terminal-de-la-voie-generale.html#serie_S%20term)

**Cours d'université sur la photosynthèse**

[www.snv.jussieu.fr/bmedia/Photosynthese-cours/01-organismes.htm](http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Photosynthese-cours/01-organismes.htm)

<http://ead.univ-angers.fr/~jaspard/Page2/COURS/Zsuite/2Photosynthese/1Photosynthese.htm>

**Banque d'images pédagogiques CRDP Poitou Charente**

[www.bips-edu.fr/main.php?g2\\_itemId=17403](http://www.bips-edu.fr/main.php?g2_itemId=17403)

**Banque de schémas** du site de l'académie de Dijon, partie consacrée à l'énergétique dont dispositifs et résultats expérimentaux.

[http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/rubrique.php3?id\\_rubrique=3](http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/rubrique.php3?id_rubrique=3)

**Galleries API**

<http://svt.ac-creteil.fr/?option-sciences-experimentales-svt.791>

**Explications sur le métabolisme, photosynthèse et chloroplaste.**

[www.snv.jussieu.fr/bmedia/Metabo](http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Metabo)



[www.snv.jussieu.fr/bmedia/Photosynthese](http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Photosynthese)  
[www.snv.jussieu.fr/bmedia/Chloroplaste](http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Chloroplaste)

**Différentes expériences sur des mitochondries isolées** (site en anglais)  
[www.ruf.rice.edu/~bioslabs/studies/mitochondria/oxystudies.html](http://www.ruf.rice.edu/~bioslabs/studies/mitochondria/oxystudies.html)

**Préparation de mitochondries isolées**  
[www2.ac-lyon.fr/enseigne/biologie/spip.php?article199](http://www2.ac-lyon.fr/enseigne/biologie/spip.php?article199)

**Protocoles sur l'utilisation du pyruvate par les mitochondries** (ExAO)  
[www.pedagogie.ac-nantes.fr/1171186071109/0/fiche\\_ressourcepedagogique/&RH=1160731039203](http://www.pedagogie.ac-nantes.fr/1171186071109/0/fiche_ressourcepedagogique/&RH=1160731039203)

**Utilisation de succinate par les mitochondries** (ExAO) et blocage par l'antimycine de la chaîne respiratoire.  
[www2.ac-lyon.fr/enseigne/biologie/spip.php?article273](http://www2.ac-lyon.fr/enseigne/biologie/spip.php?article273)

**Utilisation des fermentations en agroalimentaire**  
[http://ispb.univ-lyon1.fr/mycologie/Site\\_lab\\_myc/Enseignement/3/Biotechnologie02.htm](http://ispb.univ-lyon1.fr/mycologie/Site_lab_myc/Enseignement/3/Biotechnologie02.htm)

**Les aliments fermentés**  
[www.inra.fr/la\\_sciences\\_et\\_vous/apprendre\\_experimenter/aliments\\_fermentes](http://www.inra.fr/la_sciences_et_vous/apprendre_experimenter/aliments_fermentes)

**Informations sur le bioéthanol**  
[www.bioethanolcarburant.com/index.php/bioethanolcarburant](http://www.bioethanolcarburant.com/index.php/bioethanolcarburant)

**Les travaux de Pasteur**  
[www.pasteur.fr/ip/easysite/pasteur/fr/institut-pasteur/histoire/l-oeuvre-de-louis-pasteur](http://www.pasteur.fr/ip/easysite/pasteur/fr/institut-pasteur/histoire/l-oeuvre-de-louis-pasteur)

**Texte original « Études sur la bière » de Pasteur**  
[http://openlibrary.org/books/OL24165461M/%C3%89tudes\\_sur\\_la\\_bi%C3%A8re](http://openlibrary.org/books/OL24165461M/%C3%89tudes_sur_la_bi%C3%A8re)

[http://biowiki.mbolduc1.ep.profweb.qc.ca/index.php/La\\_physiologie\\_musculaire](http://biowiki.mbolduc1.ep.profweb.qc.ca/index.php/La_physiologie_musculaire)  
<http://coproweb.free.fr/pagphy/physioan/ch7s1.htm#top>

**Données sur le muscle et la contraction musculaire**  
[www.cnrs.fr/cw/dossiers/doscel/decouv/xtxt/zvie/muscuNiv2\\_1.htm](http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doscel/decouv/xtxt/zvie/muscuNiv2_1.htm)

## **Animations et logiciels**

**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 O<sub>2</sub> du milieu afin de retrouver la chaîne respiratoire. L'élève saisit la quantité de substance à mettre et le moment auquel il la met.  
[www.ac-grenoble.fr/svt/SITE/prof/outils/worksbio/mitoch.htm](http://www.ac-grenoble.fr/svt/SITE/prof/outils/worksbio/mitoch.htm)

**Informations sur les levures, diverses expériences virtuelles**  
[www.toutsurlalevure.fr](http://www.toutsurlalevure.fr)

**Plugin CHIME**  
[www.inrp.fr/Access/biogeo/model3d/installechime.htm](http://www.inrp.fr/Access/biogeo/model3d/installechime.htm)

**Logiciel RASTOP**  
<http://access.inrp.fr/accs/logiciels/externes/rastop>

**Librairie de molécules en 3D**  
<http://librairiedemolecules.education.fr>

**Animations actine – myosine du site de l'académie de Rennes**  
[www.sci.sdsu.edu/movies/actin\\_myosin\\_gif.html](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](http://espace-svt.ac-rennes.fr/cartelec/cartelec_lyc/terminale_s/metabolisme/actine-myosine/actine-myosine.htm)