

**UNIVERSITE LUMIERE LYON 2**

**Ecole Doctorale EPIC**

**(ED 485 – Education- Psychologie- Information et communication)**

**ICAR (UMR 5191 Université Lyon 2, CNRS, ENS Lyon-ifé)**

**ANNEXES**

**Activités TICE, interactions langagières en classe et  
cohérence des séquences d’enseignement scientifiques**

**Thèse de Doctorat en Sciences de l’Éducation**

**EL HAGE Suzane**

Dirigée LE MARECHAL par Jean François et BUTY Christian

Présentée et soutenue publiquement le 06 novembre 2012

**JURY**

BUTY Christian	Université Claude Bernard, Lyon 1
DE VRIES Erica	Université Pierre Mendès-France, Grenoble 2
LE MARECHAL Jean François	Ecole normale supérieure de Lyon
PINTO Roser	Université Autonome de Barcelone
REGNIER Jean Claude	Université Lumière, Lyon 2
WAJEMAN Claire	Université Joseph Fourier, Grenoble 1



## Table des matières des annexes

<i>ANNEXE 1 : Programme</i> .....	5
<i>ANNEXE 2 : Contenu d'enseignement de la séquence filmée</i> .....	15
Chapitre 1 : Dipôle RC .....	15
Activité 1 : Condensateur dans un circuit électrique.....	15
Activité 2 : Charge d'un condensateur à courant constant, définition de la capacité .....	16
Activité 3 : Suivi expérimental de la charge et de la décharge d'un condensateur à travers un conducteur ohmique ; dipôle RC.....	18
Activité 4 : Constante de temps du dipôle RC.....	20
Activité 5 : Equations différentielles régissant la charge et la décharge d'un condensateur à travers un conducteur ohmique. ....	20
Activité 6 : Résolution analytique des équations différentielles .....	21
Activité 7 : Résolution approchée de l'équation différentielle régissant la décharge d'un condensateur par une méthode itérative, la méthode d'Euler. ....	22
Activité complémentaire à faire à la maison : Energie emmagasinée dans un condensateur chargé. ....	23
Document distribué avec les activités du dipôle RC .....	24
Chapitre 2 : Dipôle RL.....	24
Activité 1 : Tension aux bornes d'une bobine .....	24
Activité 2 : Réponse en intensité d'un dipôle RL soumis à un échelon de tension, mise en évidence expérimentale.....	25
Activité 3 : Modélisation numérique de $i(t)$ ; détermination expérimentale de $L$ .....	27
Activité 4 : Etude théorique, équations différentielles.....	29
Activité 5 : Energie emmagasinée dans une bobine traversée par un courant.....	30
Chapitre 3 : Circuit RLC.....	31
Activité introductive : Tentative de prévision qualitative .....	31
Activité 1 : Mesure de la tension aux bornes du condensateur.....	31
Activité 2 : Régime apériodique et cas critique (ou "régime" critique).....	32
Activité 3 : Etude du régime pseudo-périodique.....	33
Activité 4 : Analyse énergétique expérimentale du dipôle RLC .....	33
Activité 5 : Cas idéal du circuit LC : résolution analytique.....	34
Activité 6 : Analyse énergétique théorique du dipôle RLC.....	35
Modèle du condensateur et du dipôle RC .....	36
Modèle de la bobine et du dipôle RL .....	38
Un même formalisme pour le dipôle RC et le dipôle RL. ....	40
<i>ANNEXE 3 : Les logiciels utilisés dans la séquence de l'électricité</i> .....	43
Mesure Electrique .....	43
Description technique .....	43
Traitement des données obtenues par ME .....	45
Regressi .....	45
Description de l'interface de Regressi.....	45
Traitement des données obtenues par Regressi .....	46
Nature de résultat obtenu après modélisation sous Regressi.....	49
<i>ANNEXE 4 : Définition de « la constante de temps »</i> .....	51
<i>ANNEXE 5 : Questionnaires</i> .....	53
Questionnaire numéro 1 .....	53
Questionnaire numéro 2 .....	56

<b><i>ANNEXE 6 : Entretien sur l'épreuve expérimentale.....</i></b>	<b><i>59</i></b>
<b><i>ANNEXE 7 : Consignes du découpage en épisode .....</i></b>	<b><i>61</i></b>
Séances de cours .....	61
Séances des travaux pratiques .....	61
Consignes du codage des épisodes avec des mots clés .....	62
<b><i>ANNEXE 8 : Corpus délimité .....</i></b>	<b><i>63</i></b>
Description des épisodes de la séquence codés avec le mot clé « constante de temps ».....	63
Séance 3.....	64
Séance 4 .....	65
Séance 5.....	71
Séance 6.....	75
Séance 7.....	76
Séance 8.....	81
Séance 9.....	83
Séance 12 .....	87
<b><i>ANNEXE 9 : Tableau de correspondance.....</i></b>	<b><i>91</i></b>

# ANNEXE 1 : Programme P<sub>HYSIQUE-CHIMIE</sub>

Le B.O.  
N° 4  
30 AOÛT  
2001

## Commentaires

Le thème de la radioactivité est l'occasion d'opérer une convergence thématique avec les mathématiques (exponentielle, probabilité, statistiques et équation différentielle) et les sciences de la vie et de la Terre (datation). Une concertation entre les professeurs des trois disciplines scientifiques est encouragée.

Le caractère aléatoire de la désintégration radioactive peut être observé en cours de physique avec une source de césium-137 (CRAB), ou en mesurant la radioactivité naturelle (radon). Il s'agit là d'observations sur une population macroscopique de noyaux. Les hypothèses de base concernant la désintégration d'un noyau individuel ("la désintégration d'un noyau n'affecte pas celle d'un noyau voisin", "un noyau meurt sans vieillir") permettent d'établir la loi de décroissance d'une population de noyaux. Ce modèle est traité dans le cours de mathématiques. L'élève sera amené à remarquer que l'association d'un processus aléatoire à l'échelle microscopique et d'une évolution macroscopique déterministe s'observe également lors de l'évolution d'un système chimique.

L'observation d'une décroissance radioactive permet d'établir empiriquement sa loi d'évolution. Connaissant un ensemble de valeurs de  $\frac{N}{N_0}$ , on peut remonter à la dépendance temporelle de  $N(t)$ , en utilisant la notion d'intégrale vue en mathématiques comme "aire sous la courbe", vérifier qu'elle est bien exponentielle et en déduire une constante de temps. Il faut cependant remarquer que l'expérience ne donne pas accès au nombre total de noyaux radioactifs à un instant donné, car le détecteur a d'une part une fenêtre d'entrée limitée, et d'autre part une efficacité inférieure à 100 %. Pour des conditions de mesure fixes, on fait l'hypothèse statistique selon laquelle le nombre de désintégrations mesuré est proportionnel au nombre total de désintégrations. Dans ces conditions, la constante de temps extraite est bien celle que l'on cherche.

Les effets biologiques des rayonnements ne sont pas seulement liés à l'activité, mais également à l'énergie qu'ils déposent dans le corps. Cependant aucun développement concernant l'absorption des rayonnements n'est au programme, ni les grandeurs et les unités correspondantes. Il est important, compte tenu de la difficulté d'appréhension du phénomène, de donner quelques ordres de grandeur de la radioactivité naturelle. Celle du corps humain (environ 10000 Bq, dus essentiellement au  $^{14}\text{C}$  et au  $^{40}\text{K}$ ), et celle des roches, qui libèrent principalement du radon, dont le taux de désintégration mesuré en France est de quelques dizaines à quelques centaines de becquerels par mètre cube.

Concernant l'application à la datation, une concertation avec le professeur de sciences de la vie et de la Terre est encouragée. La datation par la méthode du carbone-14 est simple, car elle repose sur l'hypothèse selon laquelle le rapport  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  dans l'atmosphère est en première approximation indépendant du temps. La radio-chronologie utilisant des noyaux à longue durée de vie (par exemple rubidium-strontium pour déterminer l'âge de la Terre), qui nécessite l'élaboration d'une méthode permettant de s'affranchir de la connaissance de la composition isotopique initiale de la roche, est envisageable plutôt dans le cours de sciences de la Terre.

On réalisera les datations par méthode graphique et par le calcul. Les deux méthodes seront exigibles en fin d'année.

Le neutrino et l'antineutrino ne seront pas exigibles dans l'écriture des réactions nucléaires.

Si un noyau fils est produit dans un état excité, on écrira sa désexcitation dans une deuxième équation.

Les bilans de masse seront effectués en utilisant les masses des noyaux et non celles des atomes.

Dans le bilan énergétique on n'effectuera pas de calcul de l'énergie cinétique de chacun des noyaux produits.

L'introduction de l'électron-volt sera faite par un argument dimensionnel. On fera remarquer à l'élève que cette unité est bien adaptée à l'atome, et que le MeV est bien adapté à l'échelle du noyau. Ce sera l'occasion d'un retour sur le chapitre L'énergie au quotidien du programme de chimie de la classe de première S.

Dans le cas de la fission et de la fusion on signalera, au moment de faire le bilan énergétique, que ces réactions, si elles libèrent de l'énergie, nécessitent d'être amorcées. Aucun développement technologique ne sera traité.

**Précisions terminologiques.** On rappelle que la notation  $^A_Z\text{X}$  caractérise le **noyau** (et non l'atome). Les équations seront écrites au niveau des noyaux.

Le terme nucléide n'est pas exigible.

Le becquerel est la seule unité utilisée pour caractériser la radioactivité d'un élément.

Pour éviter toute confusion avec la période des phénomènes périodiques, le terme **période radioactive** est évité au profit de l'expression **demi-vie**.

L'énergie de liaison est définie comme l'énergie qu'il faut fournir à un noyau au repos pour le dissocier en nucléons isolés et immobiles.

L'unité de masse atomique, de symbole u, est utilisable mais non exigée.

## C - Évolution des systèmes électriques (3TP - 10HCE)

### Objectifs

Les élèves ont abordé dans le cours de physique de la classe de première quelques propriétés de circuits électriques en courant continu. Dans cette partie, on s'intéresse à des phénomènes associés à des courants **variables**, et plus spécifiquement aux éléments qui permettent de contrôler l'évolution temporelle d'un courant électrique : condensateurs et bobines. Les lois fondamentales utilisées en courant continu (loi des tensions, loi des intensités) seront dans les applications toujours valables pour les valeurs instantanées des tensions et des intensités variables. Condensateurs et bobines sont caractérisés empiriquement par l'expression de la tension que l'on mesure à leurs bornes. Dans cette logique, il n'est pas nécessaire d'introduire la notion d'auto-induction, puisque le phénomène d'induction n'est pas au programme. On indique que la possibilité de produire des signaux électriques modulables dans le temps est à l'origine de nombreuses applications.

Dans chaque cas considéré (circuit RC, RL et LC), ce qui est appelé "résolution analytique" dans la colonne des compétences exigibles comprend : l'établissement de l'équation différentielle, la vérification qu'une solution analytique proposée la satisfait, et la détermination des constantes à partir des paramètres du circuit et des conditions initiales. On rappelle que ces compétences sont des compétences scientifiques transversales.

Les savoir-faire expérimentaux concernant l'oscilloscope ne sont exigibles qu'à la fin de l'étude de l'évolution des systèmes électriques, c'est pourquoi ils figurent à la fin de cette partie. Tous les autres réglages, tels la synchronisation ou le décalibrage, ne sont pas exigibles.

EXEMPLES D'ACTIVITÉS	CONTENUS	CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE EXIGIBLES
Comparaison visuelle, à l'établissement du courant, de l'éclairement d'une lampe mise en série avec une résistance ou un condensateur, ou une bobine, alimentés par un générateur de courant continu.		
<p>Illustrations expérimentales par quelques montages simples : oscillateurs de relaxation, temporisation, etc.</p> <p>Illustration de l'utilisation des condensateurs (alimentation continue, condensateur de découplage, stimulateur cardiaque, etc.)*</p> <p>Charge d'un condensateur à courant constant.</p> <p>Mise en évidence de l'énergie emmagasinée.</p> <p>Exemples d'application du stockage de l'énergie par des condensateurs (principe du flash).</p> <p>Charge et décharge d'un condensateur à travers une résistance : - utilisation d'un oscilloscope et /ou d'un système d'acquisition informatisé avec traitement de l'information, - visualisation des tensions aux bornes du générateur, du condensateur et du conducteur ohmique, - influence des paramètres R et C, - mesure de la constante de temps, - influence de la tension du générateur.</p>	<p><b>1 - Cas d'un dipôle RC</b> <b>1.1 Le condensateur</b> Description sommaire, symbole. Charges des armatures. Intensité : débit de charges</p> <p>Algèbrisation en convention récepteur i, u, q. Relation charge-intensité pour un condensateur <math>i = dq/dt</math>, q charge du condensateur en convention récepteur. Relation charge-tension <math>q = Cu</math>; capacité, son unité le farad (F).</p> <p><b>1.2 - Dipôle RC</b> Réponse d'un dipôle RC à un échelon de tension : tension aux bornes du condensateur, intensité du courant; étude expérimentale et étude théorique (résolution analytique). Énergie emmagasinée dans un condensateur. Continuité de la tension aux bornes du condensateur. Connaître la représentation symbolique d'un condensateur.</p>	<p>Connaître la représentation symbolique d'un condensateur. En utilisant la convention récepteur, savoir orienter un circuit sur un schéma, représenter les différentes flèches-tension, noter les charges des armatures du condensateur. Connaître les relations charge-intensité et charge-tension pour un condensateur en convention récepteur; connaître la signification de chacun des termes et leur unité. Savoir exploiter la relation <math>q = Cu</math>.</p> <p>Effectuer la résolution analytique pour la tension aux bornes du condensateur ou la charge de celui-ci lorsque le dipôle RC est soumis à un échelon de tension. En déduire l'expression de l'intensité dans le circuit. Connaître l'expression de la constante de temps et savoir vérifier son unité par analyse dimensionnelle. Connaître l'expression de l'énergie emmagasinée dans un condensateur. Savoir que la tension aux bornes d'un condensateur n'est jamais discontinue. Savoir exploiter un document expérimental pour : - identifier les tensions observées, - montrer l'influence de R et de C sur la charge ou la décharge, - déterminer une constante de temps lors de la charge et de la décharge.</p> <p><b>Savoir-faire expérimentaux</b> Réaliser un montage électrique à partir d'un schéma. Réaliser les branchements pour visualiser les tensions aux bornes du générateur, du condensateur et du conducteur ohmique. Montrer l'influence de l'amplitude de l'échelon de tension, de la résistance et de la capacité sur le phénomène observé lors de la charge et de la décharge du condensateur.</p>
<p>Vérification expérimentale, pour des i(t) de formes imposées, de l'expression de la tension aux bornes d'une bobine.</p> <p>Illustration de l'utilisation des bobines (lissage, etc.)*</p> <p>Exemples d'application du stockage de l'énergie dans une bobine (production d'une étincelle, etc.).</p>	<p><b>2. Cas du dipôle RL</b> <b>2.1 La bobine</b> Description sommaire d'une bobine, symbole. Tension aux bornes d'une bobine en convention récepteur :</p> $u = ri + L \frac{di}{dt}$ <p>Inductance : son unité le henry (H).</p>	<p>Connaître la représentation symbolique d'une bobine. En utilisant la convention récepteur, savoir orienter le circuit sur un schéma et représenter les différentes flèches-tension. Connaître l'expression de la tension aux bornes d'une bobine; connaître la signification de chacun des termes et leur unité. Savoir exploiter la relation.</p>

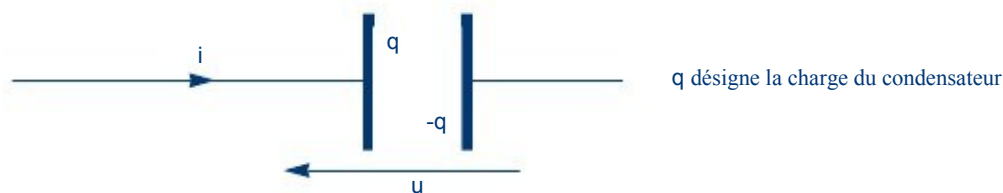
EXEMPLES D'ACTIVITÉS	CONTENUS	CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE EXIGIBLES
<p>Mise en évidence expérimentale de l'énergie emmagasinée par une bobine.</p> <p>Établissement du courant dans un circuit RL :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- utilisation d'un oscilloscope et /ou d'un Système d'acquisition informatisé avec Traitement de l'information,</li> <li>- visualisation des tensions aux bornes du générateur, de la bobine et d'un conducteur ohmique supplémentaire,</li> <li>- influence des paramètres R et L,</li> <li>- mesure de la constante de temps,</li> <li>- influence de la tension du générateur.</li> </ul>	<p><b>2.2 Dipôle RL</b></p> <p>Réponse en courant d'une bobine à un échelon de tension : étude expérimentale et étude théorique (résolution analytique)</p> <p>Énergie emmagasinée dans une bobine.</p> <p>Continuité de l'intensité du courant dans un circuit qui contient une bobine.</p>	<p>Effectuer la résolution analytique pour l'intensité du courant dans un dipôle RL soumis à un échelon de tension.</p> <p>En déduire la tension aux bornes de la bobine.</p> <p>Connaître l'expression de la constante de temps et savoir vérifier son unité par analyse dimensionnelle.</p> <p>Connaître l'expression de l'énergie emmagasinée.</p> <p>Savoir qu'une bobine s'oppose aux variations du courant du circuit où elle se trouve et que l'intensité de ce courant ne subit pas de discontinuité</p> <p>Savoir exploiter un document expérimental pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- identifier les tensions observées</li> <li>- montrer l'influence de R et de L lors de l'établissement et de la disparition du courant</li> <li>- déterminer une constante de temps.</li> </ul> <p><b>Savoir-faire expérimentaux</b></p> <p>Réaliser un montage électrique à partir d'un schéma.</p> <p>Réaliser les branchements pour visualiser les tensions aux bornes du générateur, de la bobine et du conducteur ohmique supplémentaire.</p> <p>Montrer l'influence de l'amplitude de l'échelon de tension, de R et de L sur le phénomène observé.</p>
<p>Observation d'une décharge oscillante amortie.</p> <p>Illustration expérimentale de l'entretien des oscillations (réalisation d'un oscillateur sinusoïdal).</p> <p>Étude expérimentale de la décharge d'un condensateur dans une bobine inductive :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- évolution de la tension aux bornes du condensateur en fonction du temps,</li> <li>- régimes oscillant (pseudo-période) et apériodique,</li> <li>- influence de la résistance,</li> <li>- régime oscillant avec amortissement faible ; période propre,</li> <li>- entretien des oscillations.</li> </ul>	<p><b>3 - Oscillations libres dans un circuit RLC série</b></p> <p>Décharge oscillante d'un condensateur dans une bobine.</p> <p>Influence de l'amortissement : régimes périodique, pseudo-périodique, apériodique.</p> <p>Période propre et pseudo-période.</p> <p>Interprétation énergétique : transfert d'énergie entre le condensateur et la bobine, effet Joule.</p> <p>Résolution analytique dans le cas d'un amortissement négligeable.</p> <p>Expression de la période propre <math>T_0 = 2\pi\sqrt{LC}</math></p> <p>Entretien des oscillations.</p>	<p>Définir et reconnaître les régimes périodique, pseudo-périodique et apériodique.</p> <p>Savoir tracer l'allure de la tension aux bornes du condensateur en fonction du temps pour les régimes périodique, pseudo-périodique et apériodique.</p> <p>Dans le cas d'un amortissement négligeable, effectuer la résolution analytique pour la tension aux bornes du condensateur ou la charge de celui-ci.</p> <p>En déduire l'expression de l'intensité dans le circuit.</p> <p>Connaître l'expression de la période propre, la signification de chacun des termes et leur unité.</p> <p>Savoir que le dispositif qui entretient les oscillations fournit l'énergie évacuée par transfert thermique.</p> <p>Savoir interpréter en terme d'énergie les régimes périodique, pseudo-périodique, apériodique et entretenu.</p> <p>Savoir exploiter un document expérimental pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- identifier les tensions observées,</li> <li>- reconnaître un régime</li> <li>- montrer l'influence de R et de L ou C sur le phénomène d'oscillations</li> <li>- déterminer une pseudo-période.</li> </ul> <p><b>Savoir-faire expérimentaux</b></p> <p>Réaliser un montage électrique à partir d'un schéma.</p> <p>Réaliser les branchements pour visualiser les tensions aux bornes du condensateur et de la résistance supplémentaire éventuelle.</p> <p>Montrer l'influence de R, L et C sur le phénomène observé.</p> <p>Mesurer une pseudo-période et une période.</p> <p>Utiliser un oscilloscope :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- le régler : mode balayage, finesse du trait, réglage du "zéro", choix de la sensibilité verticale et choix d'une base de temps, sélection des voies;</li> <li>- repérer les tensions observables</li> </ul> <p>Simultanément dans un circuit;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- visualiser et déterminer les caractéristiques d'une tension;</li> <li>- visualiser l'image d'une intensité;</li> <li>- visualiser simultanément deux tensions.</li> </ul>

\*Activités pouvant donner lieu à l'utilisation des technologies de l'information et de la communication.

**Commentaires**

L'objectif de la manipulation introductive est de montrer, d'un point de vue qualitatif, l'influence d'un conducteur ohmique, d'un condensateur et d'une bobine sur l'établissement du courant dans un circuit. Les trois dipôles pourront être montés en dérivation.

1 - Aucun développement sur la technologie des condensateurs n'est demandé. Le symbole du condensateur électrochimique est hors programme. L'orientation d'un circuit sera indiquée par une flèche sur un fil de jonction, surmontée de  $i$ . On insistera auprès des élèves sur le fait que si le courant passe dans le sens de la flèche, alors  $i$  est positif et que si le courant passe en sens opposé, alors  $i$  est négatif. Les conventions choisies seront celles du schéma ci-dessous :



Après avoir rappelé que l'intensité est un débit de charges électriques, on introduira  $i = dq/dt$  uniquement pour le condensateur,  $q$  étant la charge du condensateur à l'instant  $t$ .

L'expression  $q = Cu$  pourra être introduite à partir de l'expérience de la charge d'un condensateur à courant constant.

L'expression de la capacité d'un condensateur plan est hors programme.

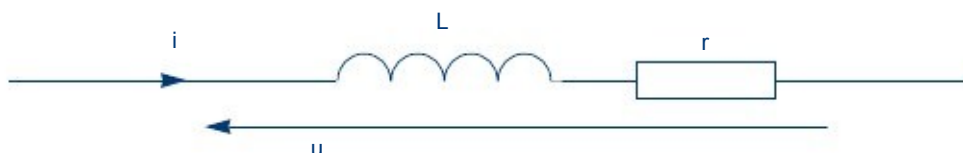
Les associations de condensateurs sont hors programme.

On étudiera aussi bien la charge que la décharge d'un condensateur en utilisant un oscilloscope à mémoire ou un système d'acquisition de données. Dans cette partie on évitera d'utiliser des tensions crêteaux pour ne pas se heurter aux difficultés liées à l'utilisation du matériel (offset) ou conceptuelles (-E, +E).

La constante de temps sera déterminée par une méthode au choix de l'enseignant.

L'expression de l'énergie pourra être établie mais sa démonstration n'est pas exigible. On indiquera que le stockage et le déstockage de l'énergie ne peuvent jamais s'effectuer instantanément. Par conséquent, la tension aux bornes d'un condensateur ne subit pas de discontinuité. 2 - L'inductance pourra être introduite avec un courant en dents de scie, dans des conditions où le terme  $ri$  est négligeable devant  $L di/dt$ .

La force électromotrice  $e = -L di/dt$  est hors programme ainsi que le modèle équivalent de la bobine qui l'utilisait. La bobine sera représentée par le schéma ci-dessous, en convention récepteur :



On pourra faire remarquer que l'introduction d'un noyau de fer doux augmente l'inductance d'une bobine. Cependant la validité de la relation  $u = ri + L di/dt$  n'est assurée que pour une bobine sans noyau de fer doux. En travaux pratiques seule l'étude de l'établissement du courant est exigée. On pourra utiliser un oscilloscope à mémoire ou un système d'acquisition de données.

Pour montrer qualitativement qu'une bobine s'oppose aux variations de l'intensité du courant dans le circuit où elle se trouve, on pourra utiliser un générateur de fonctions.

La constante de temps sera déterminée par une méthode au choix de l'enseignant.

L'expression de l'énergie pourra être établie mais sa démonstration n'est pas exigible. On indiquera que le stockage et le déstockage de l'énergie ne peuvent jamais s'effectuer instantanément. Par conséquent, l'intensité du courant dans un circuit qui contient une bobine ne subit pas de discontinuité.

3 - L'étude formelle de l'amortissement est hors programme.

On étudiera la décharge d'un condensateur dans une bobine en utilisant un oscilloscope à mémoire ou un système d'acquisition de données afin d'éviter des tensions crêteaux.

Le dispositif utilisé pour l'entretien des oscillations n'est pas à étudier. Seule sa fonction doit être connue des élèves et les oscillations entretenues doivent toujours être sinusoïdales. Cette étude sera l'occasion de montrer aux élèves comment créer une tension sinusoïdale de période choisie.

**D - Évolution temporelle des systèmes mécaniques (5 TP - 22 HCE)****Objectifs**

Cette partie constitue l'aboutissement de l'enseignement de mécanique commencé en classe de seconde. L'appropriation des lois de Newton, à travers les différents exemples de mouvements étudiés, permet aux élèves de pratiquer les différents aspects de la démarche scientifique :

- modéliser un système et utiliser les lois de la dynamique pour prévoir son comportement, en utilisant une résolution analytique et/ou une méthode numérique itérative;
- réaliser des mesures quantitatives et les confronter aux prédictions d'une théorie, dans le but éventuel d'améliorer la modélisation.

La variété des systèmes étudiés doit illustrer la généralité de la théorie.

Dans chaque cas considéré, ce qui est appelé "résolution analytique" dans la colonne des compétences exigibles comprend : l'établissement de l'équation différentielle, la vérification qu'une solution analytique proposée la satisfait, et la détermination des constantes à partir des paramètres du circuit et des conditions initiales.



EXEMPLES D'ACTIVITÉS	CONTENUS	CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE EXIGIBLES
<p>Textes (Galilée, Newton, Einstein, Feynman, etc.).*</p> <p>Applications de la vie courante mettant en jeu la première et la troisième loi de Newton.</p> <p>Tracé des vecteurs vitesse et accélération sur des enregistrements de mouvements divers de solides (la résultante des forces appliquées au solide est donnée).</p> <p>Vérification de la pertinence des grandeurs <math>m</math>, <math>\Delta v_G / \Delta t</math> et <math>\Delta F_{ext}</math> intervenant dans la deuxième loi de Newton (une des grandeurs étant fixée, l'étude porte sur les variations relatives des deux autres).</p> <p>Étude de la chute verticale de solides de même forme et de masses différentes, dans l'air et dans l'huile. Détermination des vitesses limites.</p>	<p><b>1. La mécanique de Newton</b></p> <p>Lien qualitatif entre <math>\Delta F_{ext}</math> et <math>\Delta v_G</math> (rappels)</p> <p>Comparaison de <math>\Delta v_G</math> correspondant à des intervalles de temps égaux pour des forces de valeurs différentes (résultat de l'activité)</p> <p>Introduction de <math>\Delta v_G / \Delta t</math></p> <p>Accélération : <math>a_G = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} (\Delta v_G / \Delta t) = dv_G/dt</math>; vecteur accélération (direction, sens, valeur).</p> <p>Rôle de la masse.</p> <p>Deuxième loi de Newton appliquée au centre d'inertie.</p> <p>Importance du choix du référentiel dans l'étude du mouvement du centre d'inertie d'un solide : référentiels galiléens.</p> <p>Troisième loi de Newton : loi des actions réciproques (rappel).</p>	<p>Choisir un système. Choisir les repères d'espace et de temps.</p> <p>Faire l'inventaire des forces extérieures appliquées à ce système.</p> <p>Définir le vecteur accélération et exploiter cette définition, connaître son unité.</p> <p>Énoncer les trois lois de Newton.</p> <p>Savoir exploiter un document expérimental (série de photos, film, acquisition de données avec un ordinateur...) : reconnaître si le mouvement du centre d'inertie est rectiligne uniforme ou non, déterminer des vecteurs vitesse et accélération, mettre en relation accélération et somme des forces, tracer et exploiter des courbes <math>v_G = f(t)</math>.</p> <p><b>Savoir-faire expérimentaux</b></p> <p>Savoir enregistrer expérimentalement le mouvement de chute d'un solide dans l'air et/ou dans un autre fluide en vue de l'exploitation du document obtenu.</p>
<p>Exploitation des résultats obtenus au TP précédent : vitesse limite, régime initial et permanent, influence de la masse sur la vitesse limite, modélisation de la force de frottement.</p> <p>Exemples de chutes verticales dans la vie courante.</p> <p>Une méthode numérique itérative pour résoudre l'équation différentielle caractéristique de l'évolution d'un système à l'aide d'un tableur ou d'une calculatrice graphique : la méthode d'Euler.</p> <p>Confrontation des résultats théoriques et expérimentaux, importance du choix du pas de discrétisation temporelle, du modèle théorique choisi pour la force de frottement.</p>	<p><b>2. Étude de cas</b></p> <p><b>2.1 Chute verticale d'un solide</b></p> <p>Force de pesanteur, notion de champ de pesanteur uniforme.</p> <p>- Chute verticale avec frottement</p> <p>Application de la deuxième loi de Newton à un mouvement de chute verticale : forces appliquées au solide (poids, poussée d'Archimède, force de frottement fluide); équation différentielle du mouvement; résolution par une méthode numérique itérative, régime initial et régime asymptotique (dit "permanent"), vitesse limite; notion de temps caractéristique.</p> <p>- Chute verticale libre</p> <p>Mouvement rectiligne uniformément accéléré; accélération indépendante de la masse de l'objet. Résolution analytique de l'équation différentielle du mouvement; importance des conditions initiales.</p> <p><b>2.2 Mouvements plans</b></p> <p>- Mouvement de projectiles dans un champ de pesanteur uniforme</p> <p>Application de la deuxième loi de Newton au mouvement du centre d'inertie d'un projectile dans un champ de pesanteur uniforme dans le cas où les frottements peuvent être négligés. Équations horaires paramétriques. Équation de la trajectoire. Importance des conditions initiales.</p>	<p>Définir un champ de pesanteur uniforme. Connaître les caractéristiques de la poussée d'Archimède</p> <p>Appliquer la deuxième loi de Newton à un corps en chute verticale dans un fluide et établir l'équation différentielle du mouvement, la force de frottement étant donnée.</p> <p>Connaître le principe de la méthode d'Euler pour la résolution approchée d'une équation différentielle.</p> <p>Définir une chute libre, établir son équation différentielle et la résoudre</p> <p>Définir un mouvement rectiligne uniformément accéléré.</p> <p>Savoir exploiter des reproductions d'écrans d'ordinateur (lors de l'utilisation d'un tableur grapheur) correspondant à des enregistrements expérimentaux</p> <p>Savoir exploiter des courbes <math>v_G = f(t)</math> pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- reconnaître le régime initial et/ou le régime asymptotique.</li> <li>- évaluer le temps caractéristique correspondant au passage d'un régime à l'autre.</li> <li>- déterminer la vitesse limite.</li> </ul> <p>Dans le cas de la résolution par méthode itérative de l'équation différentielle, discuter la pertinence des courbes obtenues par rapport aux résultats expérimentaux (choix du pas de résolution, modèle proposé pour la force de frottement).</p> <p><b>Savoir-faire expérimentaux</b></p> <p>Utiliser un tableur ou une calculatrice pour résoudre une équation différentielle par la méthode d'Euler.</p> <p>Appliquer la deuxième loi de Newton à un projectile dans un champ de pesanteur uniforme. Montrer que le mouvement est plan.</p> <p>Établir l'équation de la trajectoire à partir des équations horaires paramétriques.</p> <p>Savoir exploiter un document expérimental reproduisant la trajectoire d'un projectile : tracer des vecteurs vitesse et accélération, déterminer les caractéristiques du vecteur accélération, trouver les conditions initiales.</p>

EXEMPLES D'ACTIVITÉS	CONTENUS	CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE EXIGIBLES
<p>Lois de Kepler : approche historique*.</p> <p>Tracés de vecteurs accélération dans le cas d'un mouvement circulaire uniforme.</p> <p>Utilisation d'un logiciel de simulation pour la satellisation et les lois de Kepler*.</p>	<p>- Satellites et planètes</p> <p>Lois de Kepler (trajectoire circulaire ou elliptique). Référentiels héliocentrique et géocentrique. Étude d'un mouvement circulaire uniforme; vitesse, vecteur accélération; accélération normale. Énoncé de la loi de gravitation universelle pour des corps dont la répartition des masses est à symétrie sphérique et la distance grande devant leur taille (rappel). Application de la deuxième loi de Newton au centre d'inertie d'un satellite ou d'une planète : force centripète, accélération radiale, modélisation du mouvement des centres d'inertie des satellites et des planètes par un mouvement circulaire et uniforme, applications (période de révolution, vitesse, altitude, satellite géostationnaire). Interprétation qualitative de l'impesanteur dans le cas d'un satellite en mouvement circulaire uniforme.</p>	<p><b>Savoir-faire expérimentaux</b></p> <p>Savoir enregistrer expérimentalement la trajectoire d'un projectile et exploiter le document obtenu.</p> <p>Énoncer les lois de Kepler et les appliquer à une trajectoire circulaire ou elliptique. Définir un mouvement circulaire uniforme et donner les caractéristiques de son vecteur accélération. Connaître les conditions nécessaires pour observer un mouvement circulaire uniforme : vitesse initiale non nulle et force radiale. Énoncer la loi de gravitation universelle sous sa forme vectorielle pour des corps dont la répartition des masses est à symétrie sphérique et la distance grande devant leur taille. Appliquer la deuxième loi de Newton à un satellite ou à une planète. Démontrer que le mouvement circulaire et uniforme est une solution des équations obtenues en appliquant la deuxième loi de Newton aux satellites ou aux planètes. Définir la période de révolution et la distinguer de la période de rotation propre. Exploiter les relations liant la vitesse, la période de révolution et le rayon de la trajectoire. Connaître et justifier les caractéristiques imposées au mouvement d'un satellite pour qu'il soit géostationnaire. Retrouver la troisième loi de Kepler pour un satellite ou une planète en mouvement circulaire uniforme. Exploiter des informations concernant le mouvement de satellites ou de planètes.</p>
<p>Exemples de systèmes oscillants dans la vie courante : suspension de voiture, oscillation des immeubles de grande hauteur sous l'action du vent, vibration du sol au passage d'un TGV. Textes historiques de Galilée*.</p> <p>Expériences de cours mettant en évidence les notions à introduire.</p>	<p><b>3. Systèmes oscillants</b></p> <p><b>3.1 Présentation de divers systèmes oscillants mécaniques</b></p> <p>Pendule pesant, pendule simple et système solide-ressort en oscillation libre : position d'équilibre, écart à l'équilibre, abscisse angulaire, amplitude, amortissement (régime pseudo-périodique, régime apériodique), pseudo-période et isochronisme des petites oscillations, période propre. Expression de la période propre d'un pendule simple : justification de la forme de l'expression par analyse dimensionnelle.</p>	<p>Définir un pendule simple. Justifier la position d'équilibre dans le cas d'un pendule simple. Définir l'écart à l'équilibre, l'abscisse angulaire, l'amplitude, la pseudo-période, la période propre et les mesurer sur un enregistrement. Énoncer la loi d'isochronisme des petites oscillations. Savoir comment un système peut atteindre un régime apériodique. Savoir que dans le cas d'un amortissement faible, la pseudo-période est voisine de la période propre. Pour un pendule simple, justifier la forme de l'expression de la période propre par analyse dimensionnelle. À partir d'une série de résultats expérimentaux, vérifier la validité de l'expression de la période propre d'un pendule simple.</p> <p><b>Savoir-faire expérimentaux</b></p> <p>Décrire un protocole expérimental permettant :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- d'enregistrer le mouvement d'un système oscillant plus ou moins amorti</li> <li>- de vérifier la loi d'isochronisme des petites oscillations</li> <li>- de vérifier l'expression de la période propre dans le cas du pendule simple.</li> </ul>

EXEMPLES D'ACTIVITÉS	CONTENUS	CONNAISSANCES ET SAVOIR-FAIRE EXIGIBLES
<p>Étude de la force de rappel exercée par un ressort en statique.</p> <p>À l'aide d'un dispositif expérimental (par exemple un mobile sur coussin d'air relié à un ou deux ressorts ou un solide fixé à un ressort vertical) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- enregistrer <math>x = f(t)</math></li> <li>- déterminer l'amplitude et la pseudopériode</li> <li>- déterminer l'influence de l'amortissement sur l'amplitude et sur la pseudopériode</li> <li>- déterminer l'influence des paramètres <math>m</math> et/ou <math>k</math>.</li> </ul>	<p><b>3.2 Le dispositif solide-ressort</b> Force de rappel exercée par un ressort. Étude dynamique du système "solide" : choix du référentiel, bilan des forces, application de la 2<sup>ème</sup> loi de Newton, équation différentielle, solution analytique dans le cas d'un frottement nul. Période propre.</p> <p><b>3.3 Le phénomène de résonance</b> Présentation expérimentale du phénomène : exciteur, résonateur, amplitude et période des oscillations, influence de l'amortissement. Exemples de résonances mécaniques.</p>	<p>Connaître les caractéristiques de la force de rappel exercée par un ressort. Appliquer la deuxième loi de Newton au solide et effectuer la résolution analytique dans le cas d'un dispositif oscillant horizontalement. Connaître la signification de tous les termes intervenant dans la solution de l'équation différentielle et leur unité. Connaître et savoir exploiter l'expression de la période propre, vérifier son homogénéité par analyse dimensionnelle.</p> <p><b>Savoir-faire expérimentaux</b> Enregistrer un mouvement oscillant amorti. Savoir mesurer une amplitude, une pseudo-période. Savoir faire varier l'amortissement. Savoir montrer l'influence des paramètres masse et rigidité sur la période propre.</p> <p>Savoir que la résonance mécanique se produit lorsque la période de l'exciteur est voisine de la période propre du résonateur. Savoir que l'augmentation de l'amortissement provoque une diminution de l'amplitude. Connaître des exemples de résonance mécanique.</p>
<p>Activité de réinvestissement des enregistrements des travaux pratiques précédents d'un point de vue énergétique (projectile dans un champ de pesanteur uniforme, oscillation d'un ressort horizontal) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- calcul des énergies potentielle et cinétique</li> <li>- transferts d'énergie</li> <li>- énergie mécanique</li> <li>- conservation ou non de l'énergie mécanique</li> </ul> <p>Un tableur, un logiciel de traitement de données, des logiciels de simulation peuvent être utilisés pour atteindre les objectifs cités ci-dessus.</p>	<p><b>4. Aspects énergétiques</b> Travail élémentaire d'une force. Travail d'une force extérieure appliquée à l'extrémité d'un ressort, l'autre extrémité étant fixe. Énergie potentielle élastique du ressort. Énergie mécanique du système solide-ressort. Énergie mécanique d'un projectile dans un champ de pesanteur uniforme.</p>	<p>Connaître l'expression du travail élémentaire d'une force. Établir l'expression du travail d'une force extérieure appliquée à l'extrémité d'un ressort, par méthode graphique et par intégration. Établir et connaître l'expression de l'énergie potentielle élastique d'un ressort. Établir l'expression de l'énergie mécanique d'un système solide-ressort et d'un projectile dans un champ de pesanteur. Exploiter la relation traduisant, lorsqu'elle est justifiée, la conservation de l'énergie mécanique d'un système. Calculer la variation de l'énergie cinétique d'un système à partir de la variation d'énergie potentielle et réciproquement. Savoir exploiter un document expérimental pour</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- calculer des énergies</li> <li>- reconnaître et interpréter la conservation ou la non-conservation de l'énergie mécanique d'un système.</li> </ul>
<p>Étude d'une banque de données des volumes atomiques. Observation de la variété des systèmes planétaires et de l'identité de la structure et des propriétés (masse, dimension, spectre) de tous les systèmes atomiques de même composition. Étude d'un document montrant la quantification des échanges d'énergie*. Étude de spectres*.</p>	<p><b>5. L'atome et la mécanique de Newton : ouverture au monde quantique</b> Limites de la mécanique de Newton Quantification des échanges d'énergie. Quantification des niveaux d'énergie d'un atome, d'une molécule, d'un noyau. Application aux spectres, constante de Planck, <math>E = h\nu</math>.</p>	<p>Connaître les expressions de la force d'interaction gravitationnelle et de la force d'interaction électrostatique. Savoir que l'énergie de l'atome est quantifiée et que la mécanique de Newton ne permet pas d'interpréter cette quantification. Connaître et exploiter la relation <math>E = h\nu</math>, connaître la signification de chaque terme et leur unité. Convertir les joules en eV et réciproquement. Interpréter un spectre de raies. Dans les échanges d'énergie, associer le MeV au noyau et l'eV au cortège électronique.</p>

\*Activités pouvant donner lieu à l'utilisation des technologies de l'information et de la communication.

### Commentaires

1 - Cette partie nécessite l'introduction de notions de cinématique (repère, coordonnées cartésiennes, trajectoire, vitesse, accélération). Ces notions seront introduites au fur et à mesure des besoins et ne feront pas l'objet d'un chapitre particulier.

Avant d'introduire la deuxième loi de Newton, des notions étudiées en classe de seconde et de première S seront rappelées : référentiels, système, inventaire des forces, forces intérieures, forces extérieures, centre d'inertie, mouvement uniforme, première loi de Newton (principe d'inertie), troisième loi de Newton (loi des actions réciproques).

La deuxième loi de Newton sera donnée comme un principe justifié par les conséquences qu'on en tire.

On ne travaillera que dans le référentiel terrestre, considéré comme galiléen. On pourra faire référence à des référentiels non galiléens (manèges) afin de montrer que dans ce cas les deux premières lois de Newton ne s'appliquent plus. D'autres référentiels galiléens (géocentrique, héliocentrique...) seront étudiés dans la partie 2.2.

Seule est exigible l'étude de mouvements dans des référentiels galiléens.

La séance de travaux pratiques sur la chute verticale de solides sera exploitée dans les parties 1 et 2.

2 - La force de pesanteur sera introduite comme un cas particulier de la force de gravitation étudiée en classe de seconde (on ne tiendra pas compte des effets dus aux mouvements de la Terre). On introduira ensuite la notion de champ de pesanteur, mais la notion de champ de gravitation est hors programme.

L'étude de la chute verticale avec frottement sera l'occasion d'introduire la poussée d'Archimède et ses caractéristiques.

Le temps caractéristique sera pris comme la date qui correspond, pour la courbe  $v_e = f(t)$ , au point d'intersection de la tangente à l'origine ( $v = 0$ ) et de l'asymptote ( $v_{lim}$ ).

Des simulations de chute dans d'autres fluides que celui étudié en TP permettront de faire varier le coefficient de viscosité et de montrer son influence sur le temps caractéristique et la vitesse limite.

L'étude de la chute libre sera l'occasion de remarquer l'identité entre la **masse gravitationnelle** -celle qui intervient dans la force de pesanteur ou dans la force de gravitation- et la **masse inertielle** -celle qui intervient dans la deuxième loi de Newton. Cette identité explique pourquoi l'accélération de tous les objets en chute libre est égale à  $g$ . Les notions de masse gravitationnelle et de masse inerte ne sont cependant pas exigibles.

Dans l'étude du mouvement parabolique, aucun développement théorique sur la portée et sur la flèche n'est exigible. On pourra cependant, dans un exercice, utiliser l'équation de la trajectoire et les équations horaires paramétriques afin de vérifier des données (vérifier si le projectile passe en un point donné, déterminer l'angle de tir ou la vitesse initiale pour atteindre une cible...)

Aucun développement quantitatif de l'application de la deuxième loi de Newton à des mouvements sur plan horizontal ou sur plan incliné n'est exigible.

3 - La présentation de divers systèmes oscillants est uniquement descriptive. Dans cette partie aucune équation n'est écrite et l'expression littérale de la période propre n'est pas donnée.

Le pendule pesant est utilisé expérimentalement en repérant, au cours de son mouvement, les positions respectives du centre d'inertie et de l'axe de rotation. Aucune définition n'est à donner et le moment d'inertie est hors programme. Le pendule simple est présenté comme un modèle idéalisé du pendule pesant.

L'amortissement est constaté expérimentalement mais aucun développement sur l'expression des forces de frottement n'est effectué.

La pseudo-période sera définie expérimentalement à partir d'enregistrements du mouvement de pendules pour diverses amplitudes initiales.

Pour de petites amplitudes on vérifiera la loi d'isochronisme des petites oscillations.

Le système solide-ressort peut-être étudié verticalement ou horizontalement (éventuellement avec 2 ressorts).

Pour le pendule simple, à partir de l'inventaire des paramètres pouvant influencer sa période propre, on accèdera à l'expression de celle-ci par analyse dimensionnelle; la constante  $2\pi$  sera donnée.

On montrera expérimentalement que dans le cas d'un amortissement faible, la pseudo-période des oscillations d'un pendule simple est sensiblement égale à sa période propre.

La force exercée par un ressort sur un objet fixé à une de ses extrémités, l'autre étant fixe, est appelée force de rappel ( $-k \times i$ ,  $x$  désignant l'allongement algébrique et  $i$  un vecteur unitaire parallèle à l'axe du ressort). On réservera le mot "tension" pour la force opposée, c'est à dire la force exercée par un objet ou un opérateur sur un ressort ( $+k \times i$ ).

L'équation différentielle ne sera établie que dans le cas d'un ressort à réponse linéaire et horizontal.

Dans le bilan des forces et dans l'écriture de l'équation différentielle on tiendra compte d'une force de frottement  $f$  dont on ne précisera pas l'expression.

La solution de l'équation différentielle sera donnée sous la forme  $x = x_m \cos(2\pi t/T_0 + \varphi_0)$ ;  $\varphi_0$  est la phase à l'origine des dates. La pulsation propre ne sera pas introduite.

La résonance mécanique sera introduite expérimentalement sur des dispositifs qui permettent de différencier nettement exciteur et résonateur, ce qui n'est pas le cas dans l'expérience des pendules couplés.

Aucune courbe de résonance ne sera tracée expérimentalement.

4 - On rappellera les notions étudiées en première: travail du poids, énergie cinétique, énergie potentielle de pesanteur. Les activités proposées seront l'occasion de réinvestir ces notions.

Pour le calcul du travail de la force extérieure exercée sur un ressort, on commencera par exprimer le travail élémentaire. L'expression du travail pour un allongement fini sera obtenu par méthode graphique et par intégration.

L'énergie potentielle élastique du ressort est l'énergie transférée par un opérateur qui déforme le ressort : le travail de l'opérateur fait varier l'énergie potentielle stockée dans le ressort. L'énergie potentielle élastique d'un ressort détendu est prise comme référence, donc nulle.

Dans le cas où les frottements peuvent être considérés comme négligeables, les variations d'énergie potentielle compensent les variations d'énergie cinétique. Il devient alors pertinent d'introduire la notion d'énergie mécanique. Cette introduction sera faite à l'occasion de l'étude du système solide-ressort qui sera traité uniquement dans le cas horizontal.

On généralisera ensuite la notion d'énergie mécanique au cas d'un projectile dans un champ de pesanteur uniforme.

La conservation ou la non conservation de l'énergie mécanique sera montrée dans les deux cas précédents.

5 - Pour comparer les systèmes planétaires et atomiques on rappellera les expressions des forces d'interaction gravitationnelle et électrostatique.

On remarquera que bien que les deux forces aient la même forme (en  $1/r^2$ ) les structures auxquelles elles donnent naissance sont très différentes : variété des systèmes planétaires (par exemple liberté de placer un satellite à n'importe quelle altitude), identité surprenante des systèmes atomiques

de même composition. On en déduira que la mécanique newtonienne ne permet pas de rendre compte de la structure atomique. Pour introduire la quantification de l'énergie, on s'intéressera d'abord aux échanges d'énergie entre la matière et un faisceau d'électrons homocinétiques et/ou un faisceau lumineux monochromatique.

Lors de l'introduction de la relation  $E = h\nu$  le professeur pourra évoquer le modèle du photon. La relation sera appliquée à l'étude de spectres atomiques, moléculaires et nucléaires.

### Objectifs

Cette partie est considérée comme une révision de fin d'année, autour de la mesure du temps. Elle ne comporte aucune connaissance théorique ou compétence exigible nouvelle. Les exemples cités ne sont pas limitatifs et le professeur est libre de les enrichir.

- Comment mesurer une durée?
  - À partir d'une décroissance radioactive (âge de la Terre, âge de peintures rupestres...)
  - À partir de phénomènes périodiques
    - . oscillateur électrique entretenu (oscillateur LC)
    - . mouvements des astres
    - . rotation de la Terre
    - . horloges à balancier
    - . horloges atomiques : définition de la seconde.
- Mesurer une durée pour déterminer une longueur
  - À partir de la propagation d'une onde mécanique (télémètre ultrasonore, échographie, sonar...)
  - À partir de la propagation d'une onde lumineuse (télémétrie laser, distance Terre-Lune...)
  - Le mètre défini à partir de la seconde et de la célérité de la lumière
  - Le mètre et le pendule battant la seconde
  - Histoire de la mesure des longitudes
- Mesurer une durée pour déterminer une vitesse
  - Mesure de la célérité du son
  - Mesure de la célérité de la lumière

### Commentaires

Le professeur a le choix entre différentes approches, il est souhaitable que chaque exemple soit présenté sous forme d'activité ou d'exercice. Pour les phénomènes périodiques, le professeur pourra s'appuyer sur les différentes définitions historiques de la seconde.

La seconde, unité de temps, fut définie à l'origine comme la fraction  $1/86\,400$  du jour solaire moyen. La définition exacte du "jour solaire moyen" était laissée aux astronomes, mais elle ne présentait pas toutes les garanties d'exactitude par suite des irrégularités de la rotation de la Terre.

En 1960, une autre définition fut donnée par l'Union astronomique internationale, fondée sur la durée de l'année tropique 1900.

En 1967-68 fut adoptée la définition actuelle utilisant un étalon atomique d'intervalle de temps, fondé sur une transition entre deux niveaux d'énergie d'un atome.

La seconde est la durée de  $9192\,631\,770$  périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium-133, au repos et à  $0\text{ K}$ .

Le mètre est défini à partir de la seconde : c'est la distance parcourue par la lumière dans le vide pendant un intervalle de temps de  $1/299\,792\,458$  de seconde.

**Remarque :** les mesures précises de petites longueurs s'effectuent par comparaison avec les longueurs d'onde de certaines radiations atomiques ou moléculaires déterminées avec grande précision dans des laboratoires de métrologie. Ces mesures utilisent en général des techniques d'interférométrie; ces dernières sont hors programme.

Le professeur pourra faire remarquer aux élèves que la mesure du temps ne nécessite pas d'avoir une définition précise du temps. La notion intuitive de "succession temporelle" est suffisante pour mettre en place des dispositifs de mesure du temps qui, en retour, permettent de préciser la notion de temps. C'est ensuite la théorie qui indique, à une époque donnée, les phénomènes qui fournissent les meilleures horloges. Le professeur pourra également inviter les élèves à confronter leur perception psychologique du temps au temps de la physique.



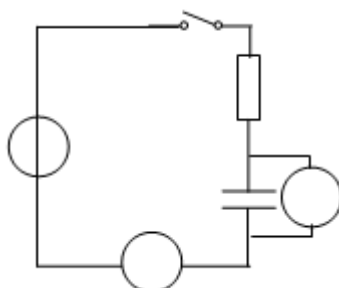
# ANNEXE 2 : Contenu

## d'enseignement de la séquence filmée

L'annexe 2 comporte le contenu d'enseignement de la séquence filmée. Nous y présentons : les activités en fonction du découpage en chapitres réalisé par l'enseignant (Jean) ; et les fiches modèles des deux premiers chapitres.

### Chapitre 1 : Dipôle RC

Activité Introductive : Premières observations de condensateurs : vers une définition



Les différents objets que vous montre le professeur peuvent être regroupés en physique sous le terme de **condensateur**. Tenter de trouver le point commun à tous ces objets *du point de vue électrique*.

### **Activité 1 : Condensateur dans un circuit électrique**

Lire le §A-1 du modèle.

1. Prévoir ce qui va se passer au niveau des armatures du condensateur si on tente de faire passer un courant électrique dans un circuit comportant un condensateur.
2. On réalise le circuit dont le schéma est donné ci-contre. Décrire qualitativement par une ou deux phrases ce qui se passe lorsqu'on ferme l'interrupteur.

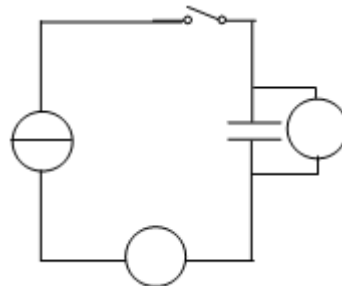
## **Activité 2 : Charge d'un condensateur à courant constant, définition de la capacité**

On souhaite connaître l'évolution de la tension aux bornes d'un condensateur lorsqu'on le met dans un circuit dans lequel circule un courant constant. On utilise pour ceci un générateur de courant.

Le circuit réalisé est représenté ci-contre. A l'instant  $t=0s$  on ferme l'interrupteur.

Représenter sur ce circuit, le sens du courant électrique dans le circuit.

Indiquer quelle armature va porter une charge positive (on mettra un petit + à côté de cette armature), quelle armature va porter une charge négative (mettre -).



Expérience 1 :

Le professeur réalise le circuit électrique. Représenter sur le schéma la tension mesurée au voltmètre. Indiquer le signe de la tension positive : .....

Généralisation : Dorénavant, dans tout schéma de circuit électrique impliquant un condensateur on choisira par convention de travailler avec les grandeurs indiquées sur le schéma suivant :



Lire et compléter le §A-2 du modèle.

Expérience 2 :

On souhaite suivre la tension aux bornes du condensateur au cours du temps.

Pour ceci, on remplira le tableau suivant en relevant des valeurs de la tension à intervalle de temps régulier (10 s par exemple) : le chronomètre et le voltmètre de mesure sont communs à toute la classe.

t (s)													
-------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--



u (V)													
----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Remarque : On veille toujours à ne pas dépasser la tension admissible par le condensateur.

Donner la représentation graphique de u en fonction du temps.

Exploitation :

Donner la relation (littérale) entre u et t.

Sachant que l'intensité i du courant mesure le débit de charge électrique  $\frac{dq}{dt}$ , donner

l'expression de la charge positive q s'étant accumulée sur l'une des armatures du condensateur à une date t quelconque :  $q(t) = \dots\dots\dots$

En utilisant les deux expressions précédentes, donner une relation (littérale) possible entre q et u.

*Lire et compléter le §A-3 du modèle.*

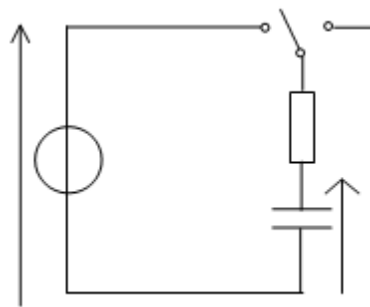
A l'aide du graphe et de la valeur de l'intensité i du courant électrique, déterminer la capacité du condensateur utilisé pour cette expérience.

Comparer à la valeur indiquée sur le condensateur.

## **Activité 3 : Suivi expérimental de la charge et de la décharge d'un condensateur à travers un conducteur ohmique ; dipôle RC**

### **Charge**

On souhaite maintenant étudier le comportement d'un condensateur lorsqu'il est en série avec un conducteur ohmique et que l'on soumet ce dipôle dit « RC » à une tension continue notée  $U_0 = 8,0$  V (cas de l'activité 1).



- 1 Réaliser le montage ci-contre en prenant dans un premier temps  $R = 1,0 \text{ k}\Omega$  et  $C = 0,5 \text{ }\mu\text{F}$ .
- 2 Connecter la carte d'acquisition de façon à pouvoir observer la tension  $u_C$  (sur l'entrée EA1).
- 3 Indiquer les branchements de la carte sur le schéma.
- 4 Dans Mesures-Electriques cocher le *mode permanent*.
- 5 Décrire par écrit la façon dont la tension  $u_C$  varie lorsqu'on met l'interrupteur en position 1 ? Pourquoi cette description est-elle difficile ?

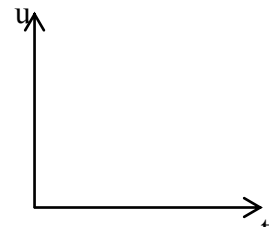
.....  
Pour résoudre cette difficulté, on n'utilise pas le mode permanent mais le *déclenchement sur seuil*. L'objectif est toujours de suivre graphiquement  $u_C = f(t)$ . Dans tous les cas, le début de l'enregistrement doit avoir lieu lorsqu'on met l'interrupteur en position 1.

Suivre alors les instructions fournies sur la fiche "acquisition de données" et les instructions données par le professeur.

- Tracer l'allure de la courbe obtenue ci-contre.
- Après avoir transféré les données dans Regressi, compléter le tableau suivant.

Valeur de $u_C$ lorsque le régime permanent est	
---	--

atteint (c.a.d. lorsque la tension $u_C$ est constante) :	
Expression du modèle numérique de $u_C(t)$ paraissant le plus adapté	
Valeurs numériques des paramètres du modèle donnés par Regressi	
-	
-	



- En faisant de nouveaux enregistrements, étudier qualitativement l'influence de R et C sur l'évolution.
  - Si R augmente, .....
  - Si C augmente, .....

## Décharge

la décharge a lieu lorsqu'on court-circuite le dipôle RC. Compléter le schéma électrique ci-dessus pour qu'il puisse permettre la décharge.

En changeant les conditions du déclenchement, effectuer la décharge et observer l'évolution de  $u_C$  au cours du temps.

Compléter le tableau ci-dessous.

Valeur de $u_C$ lorsque le régime permanent est atteint (cad lorsque la tension $u_C$ est constante) :	
Expression du modèle numérique de $u_C(t)$ paraissant le plus adapté	
Valeurs numériques des paramètres du modèle donnés par Regressi	
-	
-	



En faisant de nouveaux enregistrements, étudier l'influence de R et C sur l'évolution.

Si R augmente, .....

Si C augmente, .....

## **Activité 4 : Constante de temps du dipôle RC**

Dans le cas de telles évolutions, le physicien cherche une grandeur caractéristique du dipôle qui permet :

- d'avoir une idée de la rapidité avec laquelle le condensateur se charge
- de pouvoir comparer les dipôles RC entre eux.

Cette grandeur doit donc être un temps. On choisit de la noter  $\tau$  et de la nommer **constante de temps du dipôle RC**.

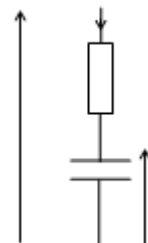
- En vous appuyant sur les mesures faites dans l'activité précédente pour étudier l'influence de R et C sur la charge et la décharge, compléter :
  - a. si R augmente,  $\tau$  doit .....(augmenter ou diminuer)
  - b. si C augmente,  $\tau$  doit .....(augmenter ou diminuer)

Chercher l'expression la plus simple possible dépendant de R et C et qui est homogène à un temps.

*Compléter le modèle.*

## **Activité 5 : Equations différentielles régissant la charge et la décharge d'un condensateur à travers un conducteur ohmique.**

- Exprimer la tension  $u$  aux bornes d'un dipôle RC en fonction de R, C et  $u_c$  (cf. notations ci-contre).
- **Charge** En écrivant que cette tension  $u$  vaut  $U_0$  (tension continue délivrée par le générateur lors de la charge), écrire l'équation différentielle vérifiée par  $u_c(t)$  lors de la charge du condensateur.
- **Décharge** On rappelle que la décharge a lieu lorsqu'on court-circuite le dipôle RC. La tension aux bornes du dipôle RC est alors nulle. En déduire également l'équation différentielle vérifiée par  $u_c(t)$  lors de la décharge du condensateur.



## **Activité 6 : Résolution analytique des équations différentielles**

### **A- Charge**

- Montrer que la fonction générale  $u_c(t) = Ae^{\alpha t} + B$  est solution à condition que B et  $\alpha$  prennent des valeurs particulières qu'on exprimera. Indication : pour qu'une égalité du type  $Xe^{\alpha t} = Y$  soit valable quelque soit t, il faut que  $X=Y=0$ .
- Détermination de A : en utilisant le fait que  $u_c(t=0)=A+B$ , déterminer la valeur de A à l'aide de la condition initiale :  $u_c(t=0) = U_0$ .
- Écrire finalement la fonction  $u_c(t)$  en fonction de  $U_0$ , R et C.





### **B- Décharge**

Vérifier que  $u_c(t) = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}$  est solution de l'équation différentielle régissant la décharge.

*Compléter le §B du modèle.*

### **C- Application à la détermination (graphique) de $\tau$**

Lorsqu'on a la représentation graphique de  $u_c$  en fonction du temps, trois méthodes sont envisageables :

	charge	décharge
1 <sup>re</sup> méthode : par tracé de la tangente à l'origine cf. exercice 15 page 148		
2 <sup>e</sup> méthode : par repérage de la valeur de u_c à l'instant t=f		
3 <sup>e</sup> méthode : par repérage du temps nécessaire pour que charge ou décharge soit effectuée à moitié	On peut noter t <sub>1/2</sub> la durée nécessaire pour que la tension u_c ait diminué de moitié.  On montre alors que dans les deux cas : t <sub>1/2</sub> = τ ln2	On peut noter t <sub>1/2</sub> la durée nécessaire pour que la tension u_c ait atteint la moitié de sa valeur finale.

**Attention** : Dans les deux cas, il faut attendre 4 à 5 τ pour qu'on puisse considérer le régime permanent atteint.

## **Activité 7 : Résolution approchée de l'équation différentielle régissant la décharge d'un condensateur par une méthode itérative, la méthode d'Euler.**

On suppose qu'on étudie la décharge d'un condensateur préalablement chargé sous la tension U<sub>0</sub>=5,0 V.

On prendra également C=1,0 μF et R=2,0 kΩ.

L'équation différentielle vérifiée par u<sub>c</sub> lors de la décharge d'un condensateur dans un dipôle

RC permet d'écrire :  $\frac{du_c}{dt} = -\frac{1}{RC} u_c$ , et par suite, en multipliant l'ensemble par C,  $\frac{dq}{dt} = -\frac{1}{RC} q$

Pour faire une résolution de cette équation différentielle par la méthode d'Euler, il faut choisir un pas de temps h.

- 6 En utilisant l'approximation affine et la formule  $i = \frac{dq}{dt}$ , exprimer la relation entre  $q(t+h)$ ,  $q(t)$  et  $i(t)$ .
- 7 Que vaut  $q(t=0)$  ?
- 8 Calculer  $i(t=0)$  après l'avoir exprimé en fonction de  $u_C(t=0)$  et  $R$ .
- 9 En prenant  $h = 1.10^{-5}$  s et en utilisant la relation établie ci-dessus compléter le tableau suivant en effectuant les calculs à l'aide de la calculatrice.

t	q (C)	i (mA)
0		
h		
2xh		

On peut demander à un tableur de faire un très grand nombre d'**itérations** de ce type et tracer ensuite  $q(t)$ .

- Ouvrir le fichier **RC.xls** puis saisir dans les premières cases les formules que vous venez d'appliquer "à la main" dans le tableau précédent.
- Faire l'itération.
- Étudier les effets sur les courbes tracées des paramètres  $R$  et  $C$ , ainsi que du pas  $h$ .

## Activité complémentaire à faire à la maison : Energie emmagasinée dans un condensateur chargé.

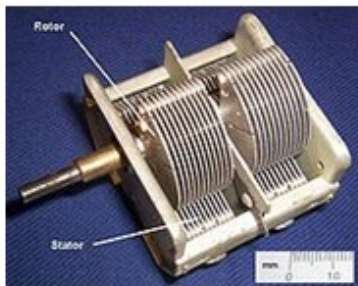
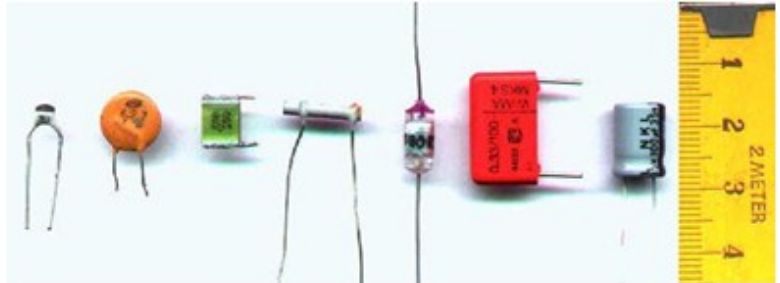
On suppose qu'un condensateur de capacité  $C$  est chargé : la tension à ses bornes est alors notée  $u$ .

Donner une expression simple faisant intervenir  $C$  et  $u$  et homogène à une énergie (c.a.d. ayant la dimension d'une énergie).

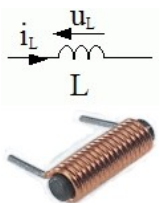
On utilisera des formules connues et on notera  $[E]$  la dimension "énergie",  $[u]$  la dimension "tension" et  $[i]$  la dimension "intensité". Rappel : une puissance est une énergie divisée par un temps. La puissance dissipée par effet Joule par un conducteur ohmique est donnée par  $Ri^2$  (ou  $U.I$ ).

Compléter le §A-4 avec la formule indiquée dans le livre et vérifier que cette formule est cohérente avec la réponse précédente.

## Document distribué avec les activités du dipôle RC



## Chapitre 2 : Dipôle RL



Une "bobine" est un enroulement d'un "grand" nombre de spires de fil électrique. Cette géométrie particulière confère à ce dipôle des propriétés électriques particulières.

Première illustration de ces propriétés : retard d'allumage d'une ampoule.

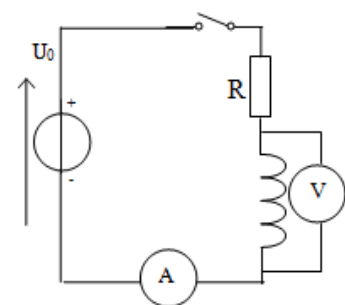
### Activité 1 : Tension aux bornes d'une bobine

Objectif : modéliser le comportement de la bobine en régime permanent.

On cherche ici avoir des indices sur la relation entre la tension aux bornes d'une bobine et l'intensité  $i$  du courant qui la traverse.

On réalise le circuit électrique dont le schéma est représenté ci-contre.

Lorsque  $i$  est constante, que vaut la tension aux bornes de la





bobine ?

En considérant que la bobine se comporte dans ce cas comme un conducteur ohmique de résistance  $r$ , déduire de la mesure précédente la valeur de  $r$  (on utilisera également la valeur de  $U_0$ ).

A ce stade on peut écrire que la tension (en convention récepteur) aux bornes de la bobine s'écrit :  $u_L = r.i + \dots\dots\dots$

Le 2<sup>e</sup> terme fait intervenir une grandeur caractéristique de la bobine : l'inductance notée  $L$ .

*Lire les § A-1 et A-2 du modèle.*

## **Activité 2 : Réponse en intensité d'un dipôle RL soumis à un échelon de tension, mise en évidence expérimentale**

Objectif : étudier la variation de l'intensité du courant lors du régime transitoire pour caractériser l'évolution temporelle de cette intensité.

*Lire la définition d'un dipôle RL dans le modèle*

### **A- Établissement du courant.**

On cherche à établir le courant dans un circuit comportant un conducteur ohmique et une bobine en série. On réalise pour ceci le circuit dont un schéma est donné ci-contre.

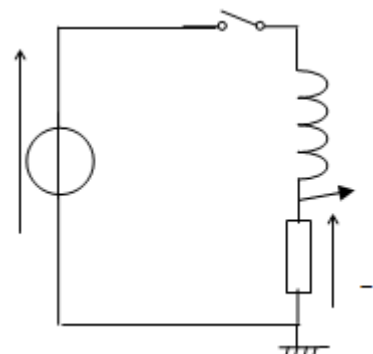
$U_0 = 3,0 \text{ V}$  ; bobine avec noyau de fer doux ;  $R = 2,2 \text{ k}$ .

#### **Mesure**

- Acquisition : entrée EA1 aux bornes du conducteur ohmique. Durée : 20 ms
- Paramètres de déclenchement : sur seuil, EA1 montante, seuil 0,5 V, pré-trig 25%.
- L'acquisition doit démarrer à la fermeture de l'interrupteur.

Comme  $U_1 = Ri$ ,  $i$  est proportionnelle à la tension mesurée  $U_1$ .

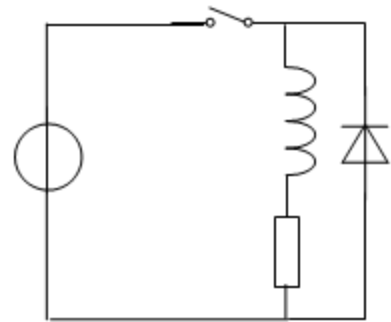
Représenter approximativement ci-contre l'évolution de l'intensité  $i$  et indiquer le ***régime transitoire*** et le ***régime permanent***.



Cette évolution est caractérisée par une constante de temps notée  $\tau$ .

Pour diminuer la valeur de  $L$ , il convient de retirer en partie le noyau de fer situé à l'intérieur de la bobine.

Compléter le tableau en indiquant les différentes grandeurs pouvant *a priori* influencer la constante de temps  $\tau$  (compléter aussi la partie du tableau qui concerne le dipôle RC).



1. Réaliser les acquisitions adéquates pour compléter le tableau.

Dipôle RL	$\tau$	Cas du dipôle RC	$\tau$
Si . . . . augmente,	<input type="checkbox"/> augmente <input type="checkbox"/> ne varie pas <input type="checkbox"/> diminue	Si R augmente,	<input type="checkbox"/> augmente <input type="checkbox"/> ne varie pas <input type="checkbox"/> diminue
Si . . . . augmente,	<input type="checkbox"/> augmente <input type="checkbox"/> ne varie pas <input type="checkbox"/> diminue	Si C augmente,	<input type="checkbox"/> augmente <input type="checkbox"/> ne varie pas <input type="checkbox"/> diminue
Si . . . . . augmente,	<input type="checkbox"/> augmente <input type="checkbox"/> ne varie pas <input type="checkbox"/> diminue	Si $U_0$ augmente,	<input type="checkbox"/> augmente <input type="checkbox"/> ne varie pas <input type="checkbox"/> diminue

## B- Rupture du courant.

On cherche maintenant à « couper » le courant dans ce circuit.

Qu'observe-t-on lorsqu'on ouvre l'interrupteur ?

.....

Pour éviter ce phénomène, on peut placer une diode (ou à la rigueur un fil) comme sur le schéma ci-contre.

On suppose qu'à  $t=0$ s, on ouvre l'interrupteur.

- 1 Représenter approximativement ci-contre l'évolution de l'intensité  $i$  et indiquer le ***régime transitoire*** et le ***régime permanent***.
- 2 Comparer approximativement la constante de temps caractérisant cette évolution et celle caractérisant l'établissement du courant.

.....

## C- Constante de temps.

Vérifier que vos mesures précédentes sont en accord avec une constante de temps qui aurait

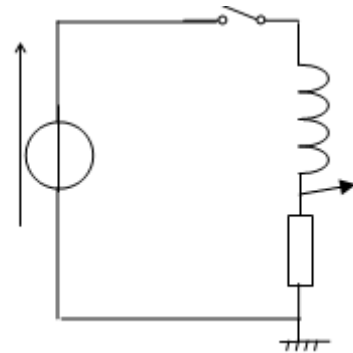
l'expression suivante :  $\tau = \frac{L}{R}$

### **Activité 3 : Modélisation numérique de $i(t)$ ; détermination expérimentale de $L$ .**

#### **A- Établissement du courant.**

On réalise le circuit dont un schéma est donné ci-contre.

$U_0 = 3,0 \text{ V}$  ; bobine avec noyau de fer doux :  $L_{th} = \dots\dots\dots$   
 $H : R = 2,2 \text{ k}\Omega$ .



#### **Mesure**

- Réaliser le montage. Le faire vérifier avant de mettre sous tension.
- Acquisition : voie EA1 aux bornes du conducteur ohmique. Durée : 20 ms
- Paramètres de déclenchement : EA1 montante, seuil 0,5 V.
- L'acquisition doit démarrer à la fermeture de l'interrupteur.

#### **Traitement**

- Envoyer les données dans regressi, après l'avoir préalablement ouvert.
- Créer une nouvelle variable  $i$  à partir de la tension acquise  $u_1$ .
- Faire tracer  $i$  en fonction du temps.
- Modéliser numériquement cette courbe (exponentielle décroissante) et relever l'expression et les deux paramètres calculés.  $i(t) = \dots\dots$

avec  $a = \dots\dots\dots$   $t = \dots\dots\dots$

- 1 En tenant compte de  $R$  et de la résistance  $r$  de la bobine, déduire de  $\square$  la valeur expérimentale de l'inductance,  $L_{exp} = \dots\dots\dots$
- 2 Vérifier que  $t$  est l'abscisse du point d'intersection de la tangente à l'origine et de l'asymptote.
- 3 Donner la valeur de  $i(t)$  et la vérifier à l'aide du réticule.

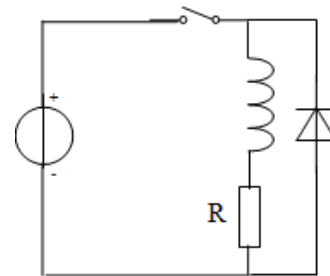
$$i(t) = \dots\dots\dots$$

## B- Rupture du courant.

Modifier le circuit de la façon décrite sur le schéma ci-contre.

### Mesure

Idem activité précédente.



### Traitement dans Regressi

- Créer une nouvelle variable  $i$  à partir de la tension acquise  $u_1$ .
- Faire tracer  $i$  en fonction du temps.
- Modéliser numériquement cette courbe (exponentielle croissante) et relever l'expression et les deux paramètres calculés.
- $i(t) = \dots\dots\dots$

avec

$a = \dots\dots\dots$

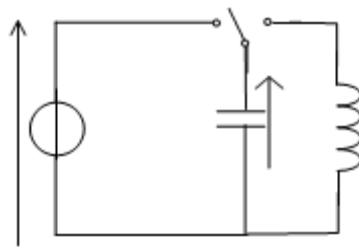
$\tau = \dots\dots\dots$

- 1 Vérifier que  $\tau$  est l'abscisse du point d'intersection de la tangente à l'origine et l'axe des abscisses.
- 2 Donner la valeur de  $i(\tau)$  et la vérifier à l'aide du réticule.  $i(\tau) = \dots\dots\dots$

## **Activité 4 : Etude théorique, équations différentielles.**

Objectif : utiliser l'expression de la tension aux bornes de la bobine pour établir l'équation différentielle vérifiée par l'intensité. *Compléter le modèle avec la formule donnant l'expression de la tension aux bornes de la bobine en convention récepteur :*

$$U_{\text{bobine}} = r.i + L.\frac{di}{dt}$$



### **Équation différentielle pour l'établissement du courant**

On suppose qu'à  $t=0s$ , on ferme l'interrupteur.

- 1 Établir l'équation différentielle vérifiée par l'intensité du courant dans le circuit (sous la forme  $y' + ay = b$ ).
- 2 Par analogie avec l'équation différentielle vérifiée par la tension aux bornes d'un condensateur lors de la charge d'un condensateur (*voir tableau récapitulatif*), vérifier que la constante de temps  $\tau$  dans cette équation différentielle est bien  $\tau = \frac{L}{R+r}$ .
- 3 Vérifier grâce aux relations que vous connaissez en électricité que cette expression est bien homogène à un temps.
- 4 Montrer que la fonction  $i(t) = A.(1 - e^{-t/\tau})$  est solution de l'équation différentielle.
- 5 Vérifier que l'expression précédente est en accord avec la valeur expérimentale de  $i$  à  $t=0$ .
- 6 En vous appuyant sur l'équation différentielle, indiquer la valeur de  $i$  lorsque le régime permanent est atteint (dans ces conditions  $i = \text{constante} = i_0$ ) :  $i_0 = \dots\dots\dots$ .
- 7 En déduire la valeur de  $A$  et donner finalement l'expression complète de  $i(t)$  pour cette phase :

$$i(t) = \dots\dots\dots$$

*Compléter le modèle*

### Équation différentielle pour la rupture de courant (à faire à la maison)

On suppose qu'à  $t=0$ s, on ferme l'interrupteur.

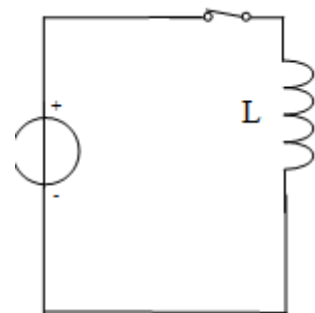
- 1 Établir l'équation différentielle vérifiée par l'intensité du courant dans le circuit (sous la forme  $y' + ay = b$ ).
- 2 Montrer que la fonction  $i(t) = A \cdot e^{-t/\tau}$  est solution de l'équation différentielle.
- 3 En exprimant  $i$  à  $t=0$ , donner l'expression de  $A$ , puis l'expression complète de  $i(t)$  pour cette phase :

$$i(t) = \dots\dots\dots$$

*Compléter le modèle*

## **Activité 5 : Energie emmagasinée dans une bobine traversée par un courant**

Expérience : On fait circuler un courant dans une bobine grâce au circuit dont le schéma est donné ci-contre.



- 1 En pensant à l'expérience de mise en évidence de l'énergie emmagasinée dans un condensateur chargé (mise en rotation d'un moteur), indiquer où l'on pourrait ajouter un tel moteur et ce qu'il faudrait alors faire pour illustrer le fait qu'une bobine traversée par un courant emmagasine de l'énergie.
- 2 L'expérience sera réalisée par le professeur.
- 3 Quel devrait être le courant traversant la bobine lorsque la bobine a délivré toute l'énergie emmagasinée ?
- 4 De quoi dépend a priori l'énergie emmagasinée ?

*Compléter le §C du modèle.*

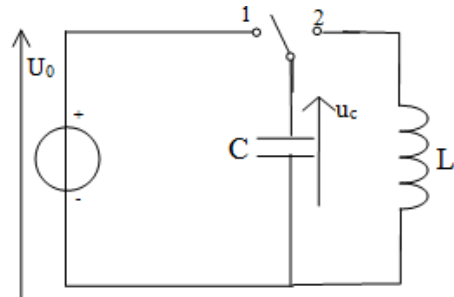
- 5 Vérifier que l'expression fournie est homogène à une énergie.
- 6 Quelle est la grandeur qui, en conséquence, ne peut pas subir de discontinuité ?

# Chapitre 3 : Circuit RLC

## **Activité introductive : Tentative de prévision qualitative**

On cherche à connaître la tension aux bornes d'un condensateur lorsque celui-ci se décharge dans une bobine (dont la résistance est considérée négligeable). On suppose qu'on charge le condensateur en mettant le commutateur en position 1.

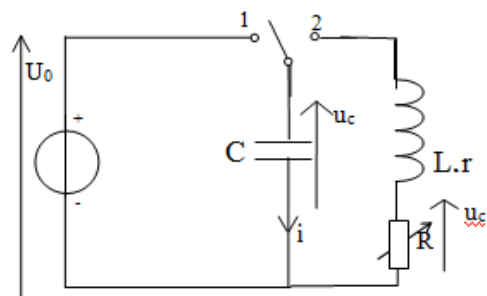
En raisonnant qualitativement, on cherche à prévoir l'évolution de la tension  $u_C$  lorsqu'on bascule le commutateur en position 2 ( $t=0s$ ).



- Où est stockée l'énergie du circuit LC série à  $t=0s$  ?
- Juste après  $t=0s$ ,  $u_C$  augmente-t-elle ou diminue-t-elle ?
- Lorsque le condensateur est totalement déchargé, l'énergie initiale n'est plus stockée dans le condensateur mais dans la bobine. Indiquer pourquoi il est impossible électriquement que cette énergie reste emmagasinée indéfiniment dans la bobine.
- En réitérant ce raisonnement, indiquer qualitativement (en français ou à l'aide d'un graphe) comment pourrait évoluer la tension  $u_C=f(t)$ .

## **Activité 1 : Mesure de la tension aux bornes du condensateur**

- Réaliser le circuit dont le schéma est donné ci-contre.
- On prendra  $C=0,5 \mu F$  et on veillera à prendre la bobine sans noyau
- On minimise la résistance du dipôle LC (pour s'approcher au mieux de la situation précédente) en choisissant  $R=0\Omega$ . On peut donc considérer que la résistance du dipôle



RLC est celle de la bobine (qu'on mesure à l'ohmmètre) :  $r = \dots$

Indiquer sur le schéma les branchements de la carte d'acquisition qu'il faut effectuer pour mesurer  $u_C$  sur la voie EA1.

- Réaliser le branchement de la carte d'acquisition de façon à mesurer  $u_C$  sur la voie EA1.
- Faire une acquisition en adoptant les paramètres suivants :
  - Durée d'acquisition : 50 ms ; nombre de points maximum (5001)
  - Déclenchement sur seuil, EA1 descendant, seuil autour de à 3,0 V.
- Après avoir déplacé l'origine des dates, envoyer les données dans Regressi et imprimer le graphe  $u_C=f(t)$  obtenu.
- On a  $i = C \frac{du_C}{dt}$ . Tracer à la main sur le même graphe mais avec un autre axe des ordonnées, l'allure de la courbe  $i(t)$ . On ne donnera aucune valeur numérique.
- Réaliser le branchement de la carte d'acquisition de façon à mesurer la tension  $U_R$  sur la voie EA2.

Attention  $U_R = -Ri$ .

Choisir  $R=10 \Omega$ . Réaliser une nouvelle acquisition et vérifier l'accord avec votre tracé précédent.

## **Activité 2 : Régime apériodique et cas critique (ou "régime" critique)**

- Refaire plusieurs acquisitions (EA1 seule) en augmentant progressivement  $R$  ( $10 \Omega$ , puis  $20 \Omega$ , puis  $30 \Omega \dots$ ).
- En effectuant le nombre nécessaire d'acquisitions, trouver et noter la valeur approximative de  $R$  (à  $10\Omega$  près) pour laquelle il n'y a plus d'oscillations : cette résistance est appelée **résistance critique**.

**Résistance critique :  $R_c = \dots\dots\dots$**

- Pour des valeurs de  $R$  supérieures à cette résistance critique, vérifier qu'il n'y a plus d'oscillations. On dit qu'on est alors en **régime apériodique**.
- Représenter ci-dessous l'allure de la courbe donnant  $u_C(t)$  en régime apériodique.



## **Activité 3 : Etude du régime pseudo-périodique**

En pratique, pour obtenir des oscillations durables, le cas le plus intéressant est celui pour lequel il y a des oscillations les moins amorties possibles. On choisira donc pour toutes les acquisitions suivantes R faible ( $R=0\Omega$  par exemple au début).

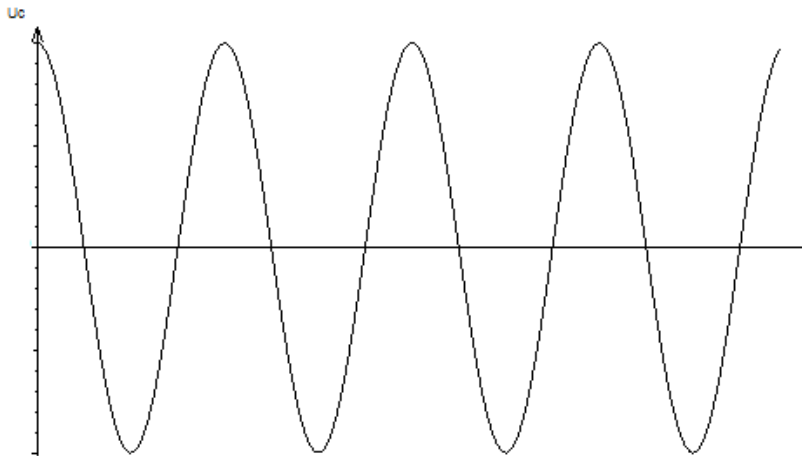
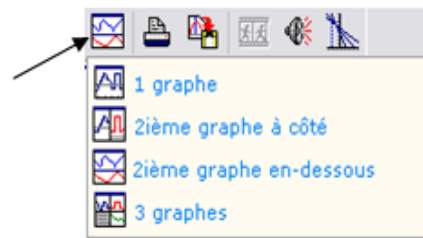
- 1 Pourquoi parle-t-on de régime **pseudo**-périodique ?  
.....
- 2 Lire et compléter le §A du modèle.
- 3 En variant les caractéristiques du circuit électrique et en faisant des acquisitions successives, compléter le tableau suivant :

	La pseudo-période		
Si C augmente,	<input type="checkbox"/> augmente	<input type="checkbox"/> ne varie pas	<input type="checkbox"/> diminue
Si L augmente,	<input type="checkbox"/> augmente	<input type="checkbox"/> ne varie pas	<input type="checkbox"/> diminue
Si R augmente,	<input type="checkbox"/> augmente	<input type="checkbox"/> ne varie pas	<input type="checkbox"/> diminue

## **Activité 4 : Analyse énergétique expérimentale du dipôle RLC**

- 1 Réaliser une acquisition de la tension  $u_C$  aux bornes du condensateur (cf activité 1) avec  $C = 0,5 \mu F$ .
- 2 Faire tracer la fonction  $u_C = f(t)$  et la modéliser comme une exponentielle décroissante (dans l'onglet *Oscillations* choisir *Amorties (période)*).
- 3 Dédire de la valeur de la pseudo-période T calculée par le tableur et de la valeur de C ( $0,5 \mu F$ ), la valeur de l'inductance L.  $L = \dots\dots\dots$
- 4 Faire calculer dans **regressi** les variables suivantes :
  - L'énergie emmagasinée dans le condensateur à chaque instant : on la notera  $E_e$ .  
*Rappel* :  $C = 0,5 \mu F$
  - L'énergie emmagasinée dans la bobine à chaque instant : on la notera  $E_m$  (pour énergie magnétique)
  - *Indication* :  $L = \dots\dots\dots$  ; la dérivée d'une fonction f se calcule ainsi dans regressi : DIFF(f,t)
  - L'énergie totale emmagasinée : on la notera E.

- 5 Faire afficher un deuxième graphe sous le premier en cliquant sur le bouton ci-contre et en choisissant "2<sup>ième</sup> graphe en dessous".
- 6 Faire tracer les évolutions temporelles de  $E_e$ ,  $E_m$  et  $E$ .
- 7 Imprimer les deux graphes.
- 8 Représenter sur votre feuille les graphes qu'on obtiendrait dans le cas d'un dipôle LC (sans amortissement).



$E_e$  en bleu  
 $E_m$  en rouge  
 $E$  en noir

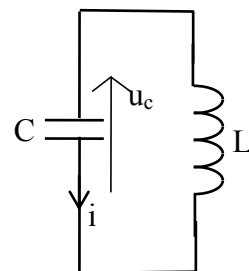


## **Activité 5 : Cas idéal du circuit LC : résolution analytique**

Ce qu'on appelle « circuit LC » est un concept qui modélise un circuit idéal qui n'aurait pas de résistance (*idéal* au sens où il n'y aurait plus de dissipation d'énergie) :  $R=0\Omega$ .

On suppose que le condensateur est initialement chargé.

En écrivant de deux façons différentes la tension  $u_c$ , établir l'équation différentielle vérifiée par  $u_c(t)$  (sous la forme  $y''+ay=0$ ).



Indiquer à quelle condition sur  $T_0$  la fonction sinusoïdale suivante est solution :

$$u_C = U_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi\right) \text{ où } T_0 \text{ est ici la période de cette solution.}$$

- Retrouver alors l'expression de la période propre d'un circuit LC :  $T_0 = \dots\dots\dots$

On assimile cette période propre à la pseudo-période du dipôle RLC correspondant en régime pseudo-périodique.

- A l'aide de la question 1, indiquer également l'équation différentielle vérifiée par la charge  $q$  du condensateur
- En utilisant le fait que  $i(t)$  est la dérivée de  $q(t)$ , donner l'expression de  $i(t)$ .
- Compléter le § B du modèle

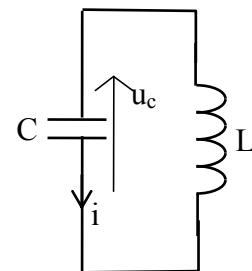
Remarque : les valeurs de  $U_m$  et  $t$  sont obtenues par les conditions initiales sur  $u_C$  et  $i$ .

## **Activité 6 : Analyse énergétique théorique du dipôle RLC**

Exprimer l'énergie emmagasinée  $E$  dans le circuit à chaque instant en fonction de  $C$ ,  $u_C$ ,  $L$  et  $i$ .

Exprimer  $E$  en fonction de  $C$ ,  $L$ ,  $u_C$  et sa dérivée :

$E = \dots\dots\dots$



### **A- Circuit LC**

Montrer que cette énergie est forcément constante en montrant que  $\frac{dE}{dt} = 0$  (on se servira de l'équation différentielle vérifiée par  $u_C$  pour le dipôle LC).

### **B- Circuit RLC**

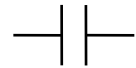
- 1 Comment évolue l'énergie emmagasinée dans le circuit RLC ?
- 2 Quel type de transfert d'énergie a lieu vers l'extérieur ?

# Modèle du condensateur et du dipôle RC

## A- Condensateur

- 1 En physique, on appelle condensateur tout objet constitué de deux armatures conductrices relativement proches l'une de l'autre mais séparées par un matériau isolant du point de vue électrique.

Sa représentation symbolique dans un schéma de circuit électrique est :

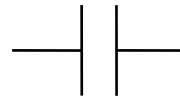


- 2 Si on place un condensateur dans une portion de circuit électrique dans laquelle passe un courant d'intensité  $i$ , il apparaît une charge  $q > 0$  sur une des armatures et une charge  $-q$  sur l'autre armature : **le condensateur se charge.  $q$  est appelée la charge du condensateur.**

Cette apparition de charges électriques sur les armatures s'accompagne de l'apparition d'une différence de potentiel entre les deux armatures.

On choisit de représenter les grandeurs électriques concernant tout condensateur grâce à la convention *récepteur* :

Avec cette convention, on a aussi  $i = \frac{dq}{dt}$ .



- 3 Capacité du condensateur

La tension  $U$  et la charge  $q$  sont proportionnelles.

La capacité  $C$  d'un condensateur est le coefficient de proportionnalité entre  $u$  et  $q$  :

.....

La capacité s'exprime en farad (F) dans le système international d'unité ; elle suffit à caractériser le condensateur.

- 4 Énergie emmagasinée dans un condensateur

L'énergie emmagasinée par un condensateur de capacité  $C$  chargé sous la tension  $u$  est donnée par l'expression :

.....

## B- Dipôle RC

On appelle dipôle RC l'association en série d'un conducteur ohmique de résistance  $R$  et d'un condensateur de capacité  $C$ .

Lorsqu'un dipôle RC est soumis à une tension constante  $U$ , la tension aux bornes du condensateur  $u_c$  met un certain temps à atteindre cette valeur  $U$  (charge du condensateur).

De même, lorsqu'on applique une tension nulle au dipôle (court-circuit), la tension  $u_c$  met un certain temps à devenir nulle.

CHARGE



DECHARGE



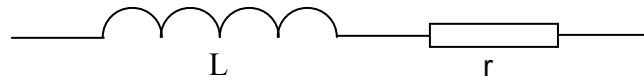
- Équation différentielle vérifiée par  $u_c$  : .....
- Expression de  $u_c$  : .....
- Constante de temps : .....

# Modèle de la bobine et du dipôle RL

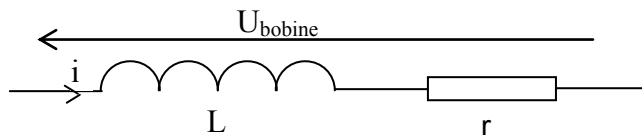
## A- Bobine

- 1 En physique, tout enroulement plus ou moins long de conducteur électrique peut être modélisé par une « bobine ».
- 2 Une bobine est caractérisée en physique par :
  - sa résistance (notée souvent  $r$ ) ;
  - son inductance  $L$ , exprimée en henry (H), qui rend compte de la façon dont la bobine tend à s'opposer aux variations de courant dans le circuit.

Sa représentation symbolique dans un schéma de circuit électrique est par conséquent :



- 3 L'inductance  $L$  est définie par la tension aux bornes de la partie non résistive de la bobine :  $U_{\text{bobine}} =$
- 4 Avec les grandeurs suivantes (utilisation de la convention récepteur), on a



## B- Dipôle RL (série)

On modélise l'association en série d'une bobine et d'un conducteur ohmique de résistance  $r'$  par un dipôle dit « RL », où : -  $R$  est la somme des résistances du dipôle :  $R = r + r'$  ;  $L$  est l'inductance de la bobine.

Établissement du courant/ Rupture du courant

Lorsqu'un dipôle RL est soumis à une tension constante  $U$ , l'intensité du courant dans le dipôle met un certain temps à atteindre la valeur maximale.

De même, lorsqu'on court-circuite le dipôle, l'intensité du courant met un certain temps à devenir nulle.

- 1 Équation différentielle vérifiée par  $i$  : .....
- 2 Expression de  $i$  : .....

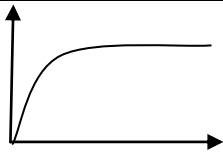
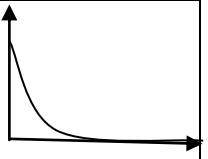
3 Constante de temps du dipôle RL :.....

### **C- Énergie emmagasinée**

L'énergie emmagasinée par une bobine parcourue par un courant d'intensité  $i$  est donnée par l'expression :  $E_{\text{mag}} =$

Conséquence :.....

# Un même formalisme pour le dipôle RC et le dipôle RL.

Cas général	Équation différentielle	$\frac{dy}{dt}(t) + a.y(t) = b$		$\frac{dy}{dt}(t) + a.y(t) = 0$	
	Condition initiale	$y(t=0)=0$		$y(t=0)=y_0$	
	Solution et graphe	$y(t) = \frac{b}{a}(1 - e^{-at})$		$y(t) = y_0.e^{-at}$	
	Constante de temps caractéristique	$\frac{1}{a}$		$\frac{1}{a}$	
Dipôle RC		Charge		Décharge	
	Équation différentielle vérifiée par $u_C$				
	Condition initiale				
	Solution et graphe				
	Constante de temps				
Dipôle RL		Etablissement du courant		Annulation du courant	
	Équation différentielle vérifiée par $i$				
	Condition initiale				
	Solution et graphe				
	Constante de temps				







# **ANNEXE 3 : Les logiciels utilisés dans la séquence de l'électricité**

La technologie d'information et de communication dans l'enseignement est un des éléments central de ce travail. Dans notre prise de données effectuée, Jean a utilisé deux logiciels et une animation. Les deux logiciels sont : mesure électrique et Regressi, l'animation porte sur l'électroscope.

Dans cette partie, nous décrivons brièvement le mode de fonctionnement des logiciels ainsi que nous soulignons les caractéristiques de ces logiciels du point de vue de registre sémiotique et de la modélisation.

## **Mesure Electrique**

Mesure Electrique (ME dans la suite) est un logiciel gratuit qui existe en plusieurs versions. Notre enseignant utilise la version 2.0 de ce logiciel. ME permet de réaliser les acquisitions de tensions variables en fonction du temps. Il est utilisé également pour des expériences utilisant des tensions comme vecteurs d'information. Le résultat des acquisitions de mesure est toujours obtenu dans le registre graphique, principalement les graphes et le tableau de valeur. Le registre symbolique mobilisé par ME se limite aux unités de mesure : unité Volt exprimé par le symbole V sur l'axe des ordonnées, unité de la durée totale de l'acquisition exprimé en milliseconde (ms).

## **Description technique**

Toutes les réglages de ME sont accessibles de la fenêtre principale. La terminologie utilisée est simple et on y retrouve le paramétrage classique des acquisitions : nombre de points, durée totale, calibre de chaque voie, mode différentiel, pré-acquisition, mode permanent ou monocoup. Ce logiciel comporte huit entrées groupées en quatre canaux (figure 1). Elles peuvent fonctionner de manière indépendante.

ME permet de disposer les courbes des différents essais (expériences) sur le même graphique c'est à dire il permet de voir sur un même écran différentes courbes obtenues en changeant un

paramètre d'acquisition. Plusieurs possibilités sont offertes pour déclencher les acquisitions des données et de mesure sous ME :

- manuel : le démarrage des mesures a lieu en cliquant sur « démarrer l'acquisition » ou en appuyant sur la touche F10 ;
- sur seuil : le démarrage des mesures a lieu lorsque la tension de la voie sélectionnée (parmi les voies actives) passe par le seuil indiqué dans la boîte de saisie « Seuil » ;
- sur échelon : le démarrage des acquisitions des mesures sont déclenchées dès que la tension dépasse une valeur minimale pour qu'une fluctuation due aux parasites ne provoque pas de déclenchement intempestif ;
- le pré-trig : le démarrage des acquisitions des mesures commence dès le déclenchement de l'acquisition, mais ME ne renvoie à l'ordinateur que les mesures réalisées à partir de l'instant précédent le déclenchement " officiel " de 50 ms avant la rencontre de l'échelon de la tension. Ce mode de déclenchement des acquisitions est nécessaire lorsque la rapidité du phénomène étudié ne permet pas de déclencher la mesure manuellement au bon moment. Lorsque le pré-trig est actif, on peut voir sur le graphe un trait vertical rouge indiquant l'instant réel du démarrage des acquisitions.

Tous les graphes obtenus par une de ces méthodes d'acquisitions peuvent être sauvegardé. Nous ajoutons qu'il est possible de déplacer une droite verticale, curseur, sur les courbes pour afficher la valeur de la fonction pour une valeur donnée de la variable.

A partir de la description de ME et du fait qu'il permet de tracer des courbes en temps réel pour l'acquisition de la tension en fonction de temps ; nous pouvons dire alors que Mesure Electrique est un logiciel qui appartient à la typologie des logiciels d'acquisition des données (§.1.3.1 du cadre théorique). Le capteur du signal est externe ; l'utilisation d'une carte d'acquisition est nécessaire.

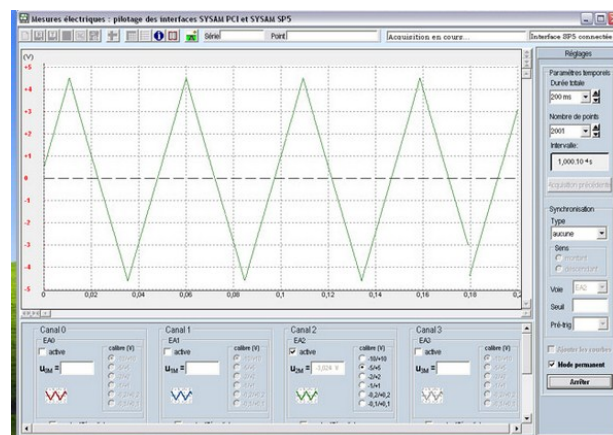


Figure 1 : Copie d'écran du logiciel ME

## Traitement des données obtenues par ME

Le traitement des données obtenues par ME peut se réaliser directement sur le graphique affiché sur l'écran ou en passant par des autres logiciels comme : Excel, calc ou Regressi. Les résultats observés et obtenus directement sous ME sont des résultats qui appartiennent au monde des objets et des événements car il ne permet que d'acquérir des mesures ; il n'y a aucune fonction supplémentaire par rapport à un voltmètre. Les résultats qui sont traités par des autres logiciels n'appartiennent pas forcément au même monde ; le tout dépend de la nature du traitement effectué sur les données et de la nature du logiciel utilisés pour le traitement.

## Regressi

Regressi est un logiciel gratuit pour un usage personnel et payant pour l'utilisation dans le cadre institutionnel. Regressi est un logiciel qui ne permet pas d'effectuer des acquisitions des données comme ME; mais permet de réaliser de traitement de données expérimentales obtenues par ME ou des autres logiciels (oscilloscope, appareil à voies séries, boîtiers d'interface). Ce logiciel est utilisé en physique-chimie pour :

- tracer et ajuster une courbe à des données expérimentales (la terminologie utilisée par le logiciel est modéliser, ajuster). Le choix des paramètres pour tracer et pour modéliser sont faites par l'enseignant. Donnons quelques exemple en électricité : tracer la courbe de l'intensité en fonction du temps ( $i=f(t)$ ), modéliser la tension en fonction du temps ( $u=f(t)$ ), modéliser l'énergie en fonction du temps ( $e=f(t)$ ),
- résoudre les équations différentielles avec la méthode d'Euler,
- tracer des vecteurs vitesses et accélérations en mécanique,
- étudier le dosage acide-base pour trouver le point d'équivalence par la méthode des tangentes.

## Description de l'interface de Regressi

L'interface de Regressi est constituée six fenêtres qui ne disposent pas des mêmes fonctionnalités (figure 2).

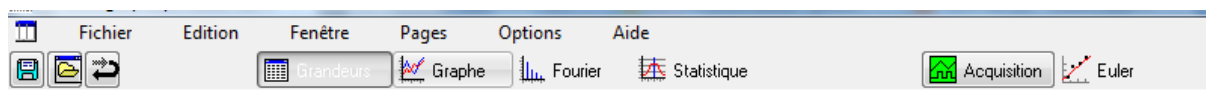


Figure 2 : Copie d'écran d'une partie de l'interface de Regressi où figurent les différentes fenêtres.

Nous décrivons brièvement le rôle de chaque fenêtre :


- grandeurs : c'est une fenêtre avec trois dossiers sélectionnables par onglets : (1) « paramètres » donne accès au tableau de valeurs des paramètres expérimentaux et de modélisation, (2) « variables » donne accès au tableau de valeurs des variables et (3) « expressions » qui donne accès aux expressions et commentaires des grandeurs calculées ;
- graphe : permet de choisir les options par défaut du registre sémiotique « graphe » ; les coordonnées du graphe, le nombre de graphes à visualiser dans cette fenêtre. Il est possible de superposer plusieurs graphes sur les mêmes axes d'abscisse et d'ordonnée. Sur cette fenêtre il est possible de visualiser plusieurs registres sémiotiques simultanément : le registre algébrique, le registre symbolique sur une moitié de l'écran et le registre graphique sur une autre moitié de l'écran ;
- fourrier : permet d'obtenir le spectre fréquentielle d'une fonction qui passera par les points de mesure ; le format de sortie est donc le registre graphique ;
- statistique : mobilise le registre graphique puisque cette fenêtre permet de tracer l'histogramme de la grandeur qui a été mesurée. Il permet de donner les valeurs numériques de la moyenne de l'écart type, etc. ;
- acquisition : permet d'ouvrir une acquisition dans un nouveau fichier sous Regressi ;
- Euler : permet de programmer la méthode d'Euler pour résoudre les équations différentielles. Cette fenêtre est comme la fenêtre graphe du point de vue de registre sémiotique ; il y a la possibilité de visualiser plusieurs registres sémiotiques sur l'écran.

## Traitement des données obtenues par Regressi

Les données à traiter sous Regressi peuvent venir de plusieurs sources :

- manuellement en créant sous Regressi des tableaux avec des valeurs expérimentales ;

- ouvrir des fichiers d'acquisitions obtenus par ME ou autre logiciel. Dans ce cas, nous pouvons dire que l'utilisation de ces deux logiciels appartiennent à la catégorie de « Systèmes d'enregistrement de données et micro-ordinateur de laboratoire » (§.1.3.1 du cadre théorique).

La première étape de traitement de données utilisé dans Regressi consiste à effectuer une « modélisation ». Cette terminologie figurant dans la fenêtre « Graphe » ensuite en cliquant sur option de modélisation . Cette terminologie « modélisation » n'est pas dans le sens du cadre théorique de la démarche de modélisation que nous avons évoqué dans le §1 du cadre théorique. Le terme modélisation dans le menu de Regressi se résume par le simple fait de choisir une allure de courbe ou de droite parmi une série prédéfinie pour tracer la meilleure droite ou courbe reliant les points expérimentaux (figure 3). Après la modélisation, les autres options de traitement des données comme : ajouter des variables, faire calculer à Regressi des valeurs numériques des différents paramètres, changer des valeurs pour visualiser l'effet sont faisables.

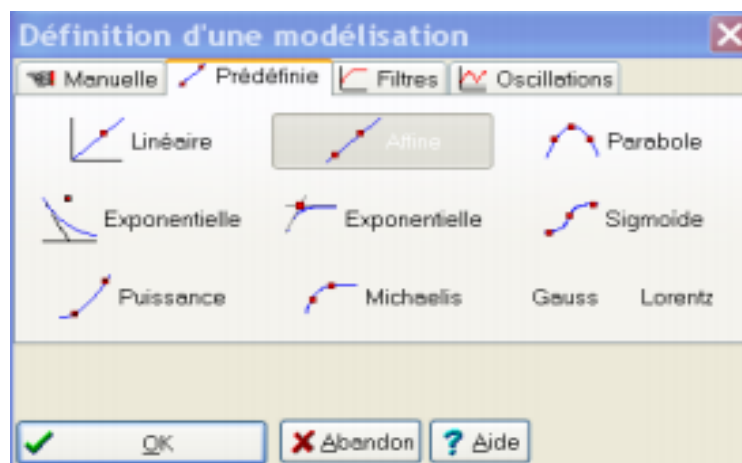


Figure 3 : Copie d'écran de l'onglet modélisation de Regressi.

Nous donnons un exemple (figure 4) pour visualiser le résultat de la modélisation de l'établissement du courant en fonction du temps pour le dipôle RL.

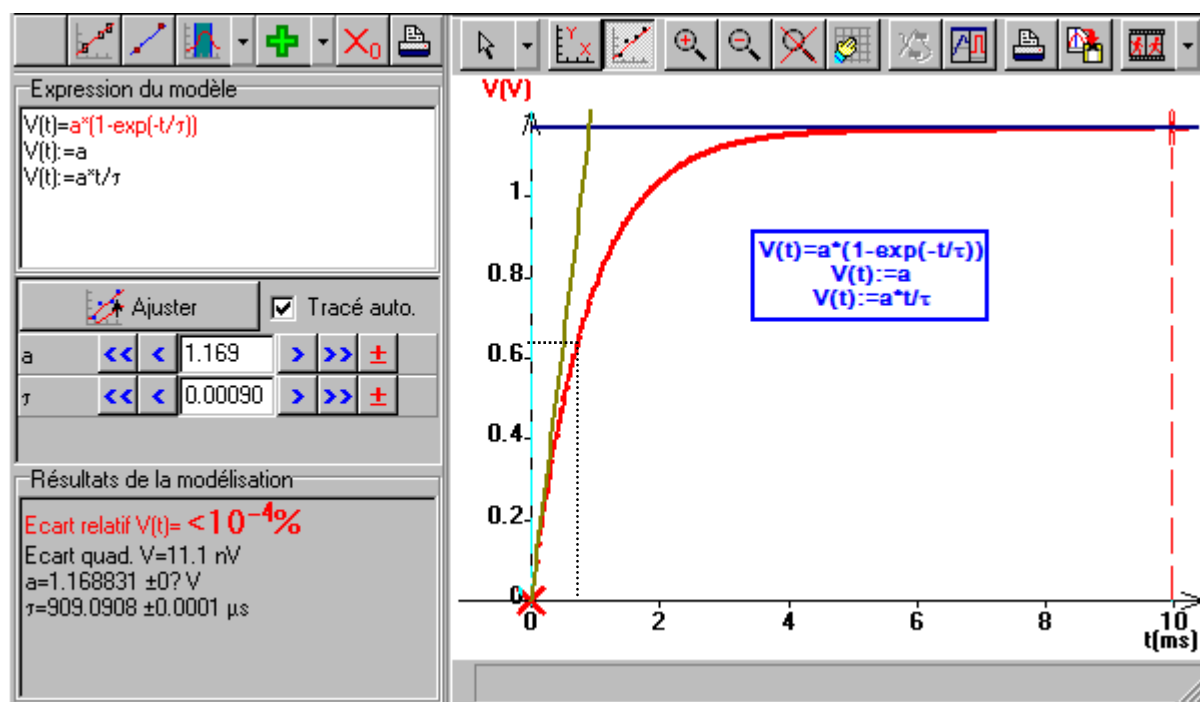


Figure 19: Modélisation de la courbe de la tension (U) en fonction du temps (t) avec Regressi ; copie d'écran obtenue en travaillant dans la fenêtre « graphe ».

Dans la première moitié de l'écran de figure 19 : nous visualisons le registre algébrique figure dans la case « expression du modèle », le registre symbolique sous la case « Résultats de la modélisation ». Dans la deuxième moitié de l'écran nous visualisons le registre graphique. Nous pouvons dire qu'un même concept (par exemple la constante de temps) est représenté par différents registres sémiotiques sur un même écran comme l'illustre la figure 19. Dans « l'expression du modèle », nous trouvons les expressions algébriques qui permettent, a priori, de calculer la valeur numérique de tau figurant en bas du résultat de la modélisation ainsi que les courbes et les droites correspondantes à chaque expression algébrique dans la partie « expression du modèle ». Nous pouvons imaginer en toute logique la possibilité des articulations dans le discours de l'enseignant lors de l'explication des interactions entre les différentes parties de l'écran, les différents registres sémiotiques dont les recherches didactiques ont montré l'importance dans le processus de la conceptualisation. Ces courbes, peuvent être enregistrés et sauvegardés pour être ré-exploités par l'enseignant ou les élèves dans d'autres moments.

Nous avons ajouté sur la figure 19, des pointillés de couleur noir pour montrer l'outil « réticule ». Cet outil donne en même temps la valeur de l'abscisse et de l'ordonnée pour un point. Il est possible de l'utiliser par exemple pour trouver la valeur de tau.



## Nature de résultat obtenu après modélisation sous Regressi

Le logiciel Regressi est un logiciel de traitement des données. La question qui se pose est la suivante : les résultats obtenus après l'utilisation de l'outil modélisation sont-ils considérés comme ceux appartenant au monde des objets et des événements ou comme ceux appartenant au monde des théories et des modèles ? (§1 du cadre théorique)

Nous rappelons que Regressi permet le traitement des données (modélisation) obtenues à l'aide d'un logiciel d'acquisition des données ou des valeurs obtenues en réalisant une expérience réelle. La modélisation se traduit par un choix un modèle parmi un ensemble prédéfini pour rassembler de la meilleure façon les points expérimentaux. Regressi donne une précision sur l'écart relatif entre les points expérimentaux et les valeurs obtenues après modélisation des valeurs numérique ainsi que des valeurs pour des autres variables.

- La modélisation par Regressi, traitement des données, peut être obtenue par des autres logiciels comme Excel. Excel permet de tracer des courbes en choisissant le type du graphique et le sous-type de graphique d'une part et permet d'indiquer l'écart relatif entre deux courbes d'autre part. Le multimètre graphique permet également de tracer des courbes, de choisir le format des courbes en testant lequel des modèles exponentiels va donner le plus faible écart relatif.
- Les valeurs numériques dans la rubrique résultat de modélisation (figure 19) sont obtenues en mobilisant des modèles mathématiques qui « fit » aux points expérimentaux sans aucune connaissance au modèle physique. En effet, Regressi affiche et trace, l'asymptote et la tangente n'a aucune influence sur la détermination de la valeur de tau, une suppression des expressions dans l'expression du modèle, supprime la courbe correspondante mais n'empêche pas Regressi de trouver et d'afficher la valeur de tau. Nous pouvons dire que les expressions algébriques et les représentations graphiques sont pour des finalités didactiques.
- Nous pouvons considérer que la valeur obtenue sur la figure 19 est de nature expérimentale ; en effet elle est dérivée directement, par approximation, des points de mesures. Au contraire, le rapport R/L à partir des valeurs nominales (ce qui n'est pas la méthode de calcul qu'applique Regressi) pourrait être considéré comme une valeur de nature théorique."

Pour ces raisons, nous pouvons dire que l'utilisation de Regressi pour effectuer une modélisation et ajustement des données laisse penser que Regressi est comme un moyen de mesure, multimètre graphique. Par conséquent, nous considérons les valeurs obtenues après modélisation sous Regressi comme des résultats appartenant au monde des objets et des évènements. Cette précision nous permette de distinguer les moments où il y a un travail dans le monde des objets/évènements et les moments du travail dans le monde des théories/modèles sur la totalité de la séquence.

# **ANNEXE 4 : Définition de « la constante de temps »**

Définition : En physique, une constante de temps est une grandeur, homogène à un temps, caractérisant la rapidité de l'évolution d'une grandeur physique dans le temps lorsque cette évolution est exponentielle.

Le symbole «  $t$  » est une lettre de l'alphabet grec qui est utilisé en physique et en électricité pour présenter la constante de temps.

## La constante de temps pour un système du premier ordre

Le produit  $\tau = R.C$  est la constante de temps d'un dipôle RC ; Le produit  $\tau = L/\Sigma R$  est la constante de temps du circuit RL

On peut la mesurer graphiquement de deux façons différentes grâce à la courbe caractéristique du dipôle, de type exponentielle :

c'est l'abscisse du point d'ordonnée 63 % de  $U_{\max}$  pour la courbe de charge du dipôle et 37 % de  $U_{\max}$  pour la courbe de décharge du dipôle ;

c'est l'abscisse du point d'intersection entre la tangente au point d'origine du repère et de la droite d'équation  $y = U_{\max}$ .

Les deux méthodes graphiques sont aussi utilisables dans le cas du dipôle RC et du dipôle RL pour trouver la valeur de  $\tau$ .



# ANNEXE 5 : Questionnaires

Dans cette annexe, nous mettons les deux questionnaires déjà rempli par notre enseignant.

## Questionnaire numéro 1

Ce questionnaire numéro 1 est un questionnaire général destiné aux enseignants qui ont accepté que nous filmions dans leur classe. Il a pour but de nous aider dans notre travail de thèse sur l'utilisation des TICE en classe de science. Bien entendu les réponses seront anonymées et resteront confidentielles.

Merci d'avance pour votre coopération.

Le 01 janvier 2011, Suzane EL HAGE

### I. Informations générales sur l'enseignant

Sexe : ☒ Homme    ☐ femme

Nom Prénom : ..Jean...

Formation initiale que vous avez suivie : Classe prépa, ENS Lyon, Agrégation de sc. physiques, DEA didactique des sciences, doctorat en sc de l'éducation

Expérience professionnelle en tant qu'enseignant (en années) : 10 ans

Avez-vous remplacé un enseignant au cours des années antérieures ?

☒ Non    ☐ Oui

Avez-vous déjà été remplacé par un enseignant au cours des années antérieures ?

☒ Non    ☐ Oui

Date du remplissage du questionnaire : 18 janvier 2011.

### II. Informations générale sur la séquence filmée

1-a. Dans quel cours avez-vous accepté d'être filmé(e) ?

☒ Physique    ☐ Chimie    ☐ Math    ☐ Technologie

1-b. Dans quel type d'établissement et dans quelle classe:

☒ Lycée

☐ Collège

Classe : TS

1-c. Quelle est, en années, votre expérience professionnelle en tant qu'enseignant dans le cours et dans la classe où vous serez filmé(e) : 7-8 ans

2. Quel est le nombre d'activités prévues dans la séquence filmée ?

3 chapitre, une quinzaine d'activités (18 environ)

3. Quel est le nombre d'activités où vous avez prévu d'utiliser les TICE ?

Une sur 2 en moyenne (mais je n'ai toujours pas compris quelle était la frontière TICE... il faudra m'expliquer).

4. Quel est le rapport entre le contenu d'enseignement et la séance/les séances TICE que vous allez organiser ?

Les TICE sont au service de l'enseignement de l'électricité en TS. Cependant, certaines compétences font références aux TICE. La manipulation de certains logiciels devient donc un objet d'apprentissage en tant que tel.

### **III. Informations générales sur votre utilisation des TICE**

1. Dans quelle salle se dérouleront habituellement les activités non TICE :

☒ Salle ordinaire des cours

☐ Salle du laboratoire

☐ Salle informatique

☐ Autres

2. Dans quelle salle se dérouleront habituellement les activités TICE:

Salle du labo informatique

3. En général, qui travaille sur les ordinateurs lors des activités TICE dans votre enseignement :

☐ Seuls les élèves travaillent sur les ordinateurs

☐ Seul l'enseignant utilise les TICE

☒ Enseignant et élèves utilisent les TICE

4. En général, dans vos activités TICE vous utilisez :

☐ TICE couplée avec une expérience « réelle »

5-a. Quel(s) logiciel(s) avez-vous utilisé dans votre enseignement au cours de l'année dernière (2009-2010) : C'est trop long, je ferai la liste à la main vendredi.

5-b. Combien de fois estimez vous que les avez utilisés : je ne sais pas Combien de fois chacun,

6. Lors de la préparation d'une séance d'enseignement, qu'est-ce qui vous paraît le plus déterminant en dehors du programme (ranger les items suivants par ordre d'importance croissante) :

3 ☐ Les matériels disponibles dans l'établissement

2 ☐ Le niveau des élèves de la classe

1 ☐ Les interactions élèves-enseignant

☐ Autre(s) paramètre(s), précisez ....

7. Avez-vous suivi une/des formation(s) sur l'utilisation de certains logiciels

☐ Oui

☐ Non, sauf des logiciels d'administration de réseaux pédagogiques.

**Merci pour votre aimable coopération!**

# Questionnaire numéro 2

Ce questionnaire numéro 2 est destiné aux enseignants qui ont accepté que nous filmions dans leur classe des séances TICE hors utilisation de bureautique. Il porte plus spécifiquement sur le contenu de la séance où les TICE sont utilisés.

Bien entendu, dans notre travail, les réponses seront anonymées et resteront confidentielles.

Merci d'avance pour votre coopération.

Le 1 janvier 2011, Suzane EL HAGE

Nom, Prénom : ...Jean

Date du remplissage du questionnaire : ...18 janvier 2011.....

## I. Informations générales sur l'activité TICE filmée

1. Quelle sera le titre de l'activité filmée :

Act 2 Réponse en intensité d'un dipôle RL soumis à un échelon de tension, mise en évidence expérimentale

Act 3 Modélisation numérique de  $i(t)$ ; détermination expérimentale de l'inductance

2. Quelle sera la durée prévue pour l'activité filmée : 1h30

3. Qui va utiliser le dispositif TICE dans cette activité:

☐ Seuls les élèves utilisent les TICE

☒ Enseignant et élèves utilisent les TICE

4. D'où est venue l'idée de l'activité que vous allez proposer :

PROGRAMME

## II. Place et rôle des TICE dans l'activité proposée

1. Quel est le nom du logiciel utilisé dans la séance qui sera filmée: Mesures électriques + Regressi

2. Où l'avez-vous trouvé

.....Complicé à expliquer ici.....

3. Le logiciel est :



☐ Gratuit pour ME

☐ Payant pour Regressi

4. Les élèves ont-ils déjà eu l'occasion:

☐ d'utiliser ce logiciel dans des activités précédentes que vous avez proposées au cours de cette année (2010-2011).

☐ d'observer ce logiciel dans des activités précédentes que vous avez proposées au cours de cette année (2010-2011).

5. Savez-vous si les élèves ont déjà eu l'occasion :

☐ d'observer ce logiciel avec un autre enseignant au cours de cette année (2010-2011).

OUI pour regressi

☐ d'utiliser ce logiciel avec un autre enseignant au cours de cette année (2010-2011).

OUI pour regressi

6. Sur une échelle allant de 1 (très difficile) à 10 (tout à fait facile), comment situez-vous ce logiciel dans le cadre d'un premier usage par les élèves:

1-2	3-4	5-6	7-8	9-10
		x		

7. Avez-vous suivi une formation sur l'utilisation de ce logiciel que vous allez utiliser dans la séance : ☐ non

8. Vous utilisez les TICE dans cette activité pour :

☐ présenter de l'information sur l'écran.

☐ provoquer l'attention des élèves.

☐ susciter la motivation des élèves pour apprendre.

☒ permettre aux élèves de s'exercer et de pratiquer.

☐ fournir un environnement numérique pour la découverte de lois naturelles par la simulation.

☐ fournir un environnement numérique pour la découverte de domaines abstraits (micro-monde).

☒ enseigner l'utilisation de l'outil informatique.

☐ Autres, à préciser.....

**Merci de votre aimable coopération !**



# **ANNEXE 6 : Entretien sur l'épreuve expérimentale**

Suite à l'entretien mené avec l'enseignant pour avoir des idées sur la constante de temps, nous avons tirés les informations suivantes :

- l'épreuve expérimentale de physique-chimie dure une heure. Elle se déroule dans le même lycée des étudiants ;
- les questions de l'épreuve expérimentale de physique-chimie en TS sont préparées par une commission nationale qui est chargé de préparer les questions et les distribuent ensuite sur les lycées,
- nous ne pouvons pas avoir un exemple des questions posées l'année dernière et les exemplaires trouvé sur l'internet et dans les annales est interdit ;
- dans les TP de l'épreuve expérimentale il y a en a plusieurs TP sur l'électricité. Il ya sur le dipôle RC, dipôle RL et dipôle RLC ;
- dans l'épreuve de l'année 2011 un des TP consiste à que les élèves réalisent une acquisition ou même deux acquisitions pour montrer l'effet de variation de R, de C ou de L sur la constante de temps ;
- les élèves ont à réaliser un montage et à effectuer des acquisitions avec les mêmes logiciels qu'ils ont vus dans l'année. En effet, les enseignants ont le droit d'adapter un tout petit peu le sujet en fonction des matériels car cette modification ne change pas du tout l'esprit du sujet ; les questions sont exactement les mêmes mais les matériels utilisés sont les mêmes que les élèves ont vu dans l'année ;
- le logiciels utilisés pendant l'épreuve expérimentale dans le lycée où nous avons filmé sont : Regressi, excel, Mesure Electrique, des simulateurs ;
- dans l'épreuve expérimentale, on a toujours une constante de temps à calculer, en électricité, on a toujours une constante de temps à déterminer. Dans l'épreuve écrite les élèves ont : soit à calculer tau en utilisant l'expression mathématique soit à appliquer la méthode de  $0,63U_0$  ou la méthode de la tangente si dans les graphes sont fournies. En effet, les élèves ne tracent pas des courbes ; il est demandé dans le

programme des compétences exigibles et des compétences exigibles expérimentales  
sur la constante de temps.

# **ANNEXE 7 : Consignes du découpage en épisode**

Dans cette partie, nous présentons les consignes que nous avons suivies pour effectuer un découpage en épisode des séances de cours et de TP.

## **Séances de cours**

- les épisodes de silence pendant lequel l'enseignant ne parle pas mais réalise des montages ou se déplace entre les binômes sont fusionnés avec les épisodes situés juste avant ou juste après. Le facteur déterminant du choix de l'épisode d'avant ou d'après est le critère proxémique ;
- que ce soit en cours ou en TP, l'enseignant que nous suivons est un enseignant qui réalise plusieurs tâches en même temps, son discours porte sur un contenu scientifique déterminé et il manipule autre chose. Dans ce cas, nous favorisons les critères verbaux pour découper en épisode sur les critères non-verbaux.

## **Séances des travaux pratiques**

- Quand l'enseignant jette un coup d'œil sur un binôme pour un délai inférieur à dix secondes sans rien dire et déplace pour voir un autre binôme, nous ne découpons pas en épisode.
- Nous découpons la totalité de la discussion avec un binôme comme un seul épisode c'est-à-dire à chaque fois que l'enseignant change de binôme, nous considérons que c'est un seul épisode même si la discussion est audible et ce qui est discuté peut être découpé en plusieurs épisodes. Ce choix est motivé par le fait que le TP est bruyant et l'interaction entre l'enseignant et les élèves n'est pas toujours audible. Ce critère de découpage permet d'assurer un découpage homogène le long de la séquence.
- Le moment où l'enseignant cause des contenus scientifiques qui ne sont pas liés à la séquence d'électricité, nous ne découpons pas le discours. Par exemple, dans la

quatrième séance de la séquence de l'électricité l'enseignant corrige un devoir surveillé de chimie, la totalité de la phase de correction qui durer 30minutes et fait un seul épisode ;

- Quand l'enseignant distribue le DS de physique et commente chaque copie 5-10 secondes, nous ne découpons pas en épisode. Par conséquent, nous avons fais un seul épisode de 12 minutes lors de la distribution du DS dans la neuvième séance (de 2011\_01\_28).

## **Consignes du codage des épisodes avec des mots clés**

Les consignes du codage en catégorie d'articulation des épisodes découpés d'autre part.

- Si dans une séance, l'enseignant annonce qu'il va distribuer des fichiers lors de la séance prochaine, nous ne codons pas l'épisode avec « annonce » car cette annonce n'est pas en lien avec le savoir enseigné.

Exemple : l'enseignant dans la deuxième séance (bande 2011\_01\_10) a annoncé qu'il va ramasser les fichiers signés par les parents des élèves

- Quand l'enseignant « appel » le fait que la caméra va se trouver durant toute la séquence pour filmer.
- Quand l'enseignant « appel » d'un savoir, d'une procédure où seulement une partie de la classe (la moitié des élèves lors du TP) l'ont vu, nous codons l'épisode avec la catégorie d'articulation « appel ».
- Quand l'enseignant « annonce » qu'ils vont faire travailler une activité dans ce qui suit et au bout de quelques secondes, l'enseignant commence à faire ce qu'il a annoncé nous ne découpons pas l'épisode et nous ne le codons pas avec « appel ».

# **ANNEXE 8 : Corpus délimité**

## **Description des épisodes de la séquence codés avec le mot clé « constante de temps »**

Dans ce qui suit, nous présentons :

- un tableau de deux lignes et douze colonnes (tableau 1) pour préciser les dates de prise des données filmées en classe de TS ainsi que le numéro de ces séances.
- nous regroupons les épisodes de la même séance sous le même titre qui est le numéro de la séance. Nous commençons avec le nom de l'épisode qui aide à le repérer dans Transana, puis nous décrivons le contenu de l'épisode. Dans certains cas, la description de l'épisode seul ne permette pas de comprendre de quoi il s'agit. Par conséquent, nous décrivons ces épisodes avec leur thème, leur sous-thème ou un épisode antérieur à celui décrit pour reconnaître le contexte de l'épisode dans le flot du discours de la classe d'une séance. Dans ce cas, nous retraçons le contexte de l'épisode suivi de « \*\*\* » au début de la description de l'épisode sous le nom de l'épisode décrit pour distinguer l'épisode du contexte. Lors de la description des épisodes, les transcriptions des paroles de l'enseignant et des élèves sont mises entre guillemets, les gestes entre des barres obliques. Nous avons utilisé également, les crochets [...] pour signaler qu'il manque un extrait au début ou à la fin de l'épisode. Cette absence, d'une dizaine de secondes est due au changement de la bande DV du caméscope lors des séances qui durent plus d'une heure. Dans la description des épisodes, nous avons souligné par un trait continu la nature de la catégorie d'articulation reliant des épisodes.

Nous rappelons que tous les épisodes décrits dans ce chapitre sont codés avec le mot clé « constante de temps ». A partir de ces épisodes, nous pouvons extraire les connaissances des épisodes portant sur un contenu commun dans le but d'étudier la nature de la cohérence.

N° de la séance	Séance 01	Séance 02/TP	Séance 03	Séance 04	Séance 05/TP	Séance 06	Séance 07/ TP
Date de la séance	2011_01_07	2011_01_10	2011_01_11	2011_01_14	2011_01_17	2011_01_18	2011_01_24
N° de la séance	Séance 08	Séance 09	Séance 10 /TP	Séance 11	Séance 12		
Date	2011_01_25	2011_01_28	2011_01_31	2011_02_01	2011_02_04		

Tableau 1 : Répartition hebdomadaire des séances de physique pour la classe de TS.

## Séance 3

- Épisode 2011\_01\_11\_51

Dans cette troisième séance de cours, l'enseignant débriefe l'activité 3 qu'il a travaillée avec les élèves dans la deuxième séance (TP). Il a comme objectif d'« *étudier le comportement d'un condensateur lorsqu'il est en série avec un conducteur ohmique et que l'on soumet ce dipôle dit « RC » à une tension continue notée  $U_0 = 8,0\text{ V}$*  ». L'enseignant trace au tableau avec un marqueur rouge l'allure de la courbe de  $u(t)$  aux bornes du dipôle RC ; et précise la nécessité de représenter l'asymptote qui correspond à la valeur de tension aux bornes du générateur lors du traçage des courbes de  $u(t)$ .

\*\*\* L'enseignant poursuit le bilan de l'activité 3. Il trace en pointillé sur le même graphe, l'allure des courbes obtenues lors de l'augmentation de la valeur de R et de C dans le cas de la charge du condensateur (figure 5). L'enseignant fait un appel précisant qu'en TP un groupe de deux a réussi à observer l'effet des variations de ces deux paramètres sur les allures de  $u(t)$  : « *si C augmente ça va à la même limite que C plus grand, si R augmente c'est également plus long /il fait le geste d'une courbure qui va mettre plus de temps pour arriver à l'asymptote/* ». L'enseignant précise que la constante de temps pour ces courbes n'est pas forcément la même et demande aux élèves de compléter une phrase de l'activité 3 (encadré 1).

En faisant de nouveaux enregistrements, étudier qualitativement l'influence de R et C sur l'évolution.
Si R augmente, .....
Si C augmente, .....
Encadré 1 : Extrait de l'activité 3



Dans ce même épisode, l'enseignant fait l'annonce que tous les élèves des deux groupes vont refaire, lors du prochain TP, l'expérience pour visualiser l'effet de C et de R sur le temps de charge.

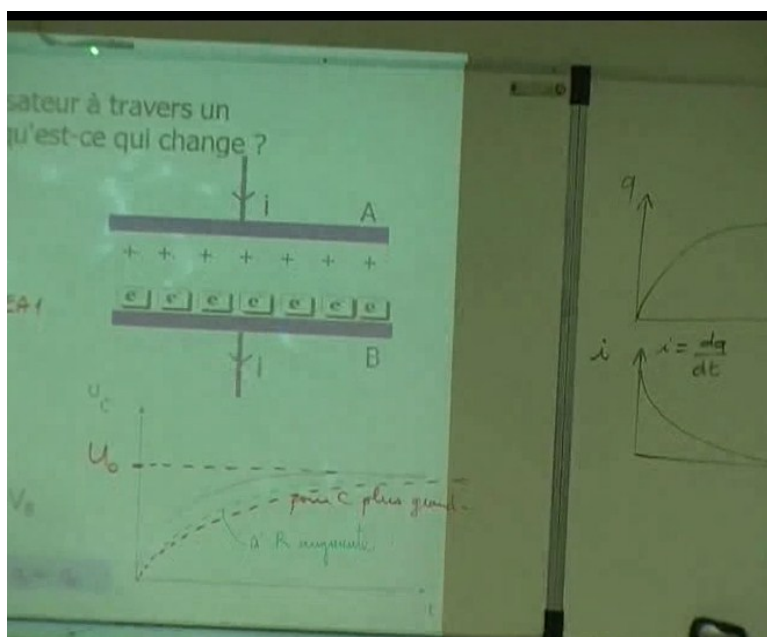


Figure 5: Copie d'écran obtenue à la fin de l'épisode 51 présentant la superposition des trois courbes de  $u(t)$ .

- Épisode 2011\_01\_11\_52

L'enseignant explicite que le but est de caractériser l'évolution temporelle (est ce que ça va vite au maximum ; est ce que ça va lentement au maximum) en faisant un appel des séquences sur la cinétique et la radioactivité. L'enseignant signale qu'ils sont « à la recherche de l'expression de la constante du temps, un tau comme en radioactivité ».

L'enseignant indique que tau dépend de R, de C et non pas de U. Il reprend qu'ils « ont déjà vu que plus C et R augmentent plus tau augmente ». Il annonce qu'ils vont essayer de retrouver l'expression de tau à partir d'une analyse dimensionnelle demandée dans l'activité 4.

## Séance 4

- Épisode 2011\_01\_14\_14

Dans cette quatrième séance de cours, l'enseignant distribue un document sur lequel il y a trois figures des courbes de  $u(t)$  pour un dipôle RC (figure 6). L'enseignant signale que les courbes sur le document sont une annexe de l'activité 3.

\*\*\* L'enseignant explicite qu'il a superposé, figure 6b, deux courbes avec la même valeur de R et deux valeurs de capacités différentes. Il demande aux élèves d'attribuer la capacité C1 et C2 aux deux courbes. Il demande également (d'attribuer chaque valeur de R pour les trois courbes de la figure 6c ; l'enseignant précise qu'il a suivi la démarche de l'activité 3 pour obtenir cette figure du document mais « *au lieu de changer les capacités j'ai changé la résistance* »).

L'enseignant propose aux élèves de raisonner sur la constante de temps pour pouvoir répondre à la tâche prescrite pendant qu'il prépare le montage afin de refaire l'acquisition et obtenir les courbes de la figure 6.

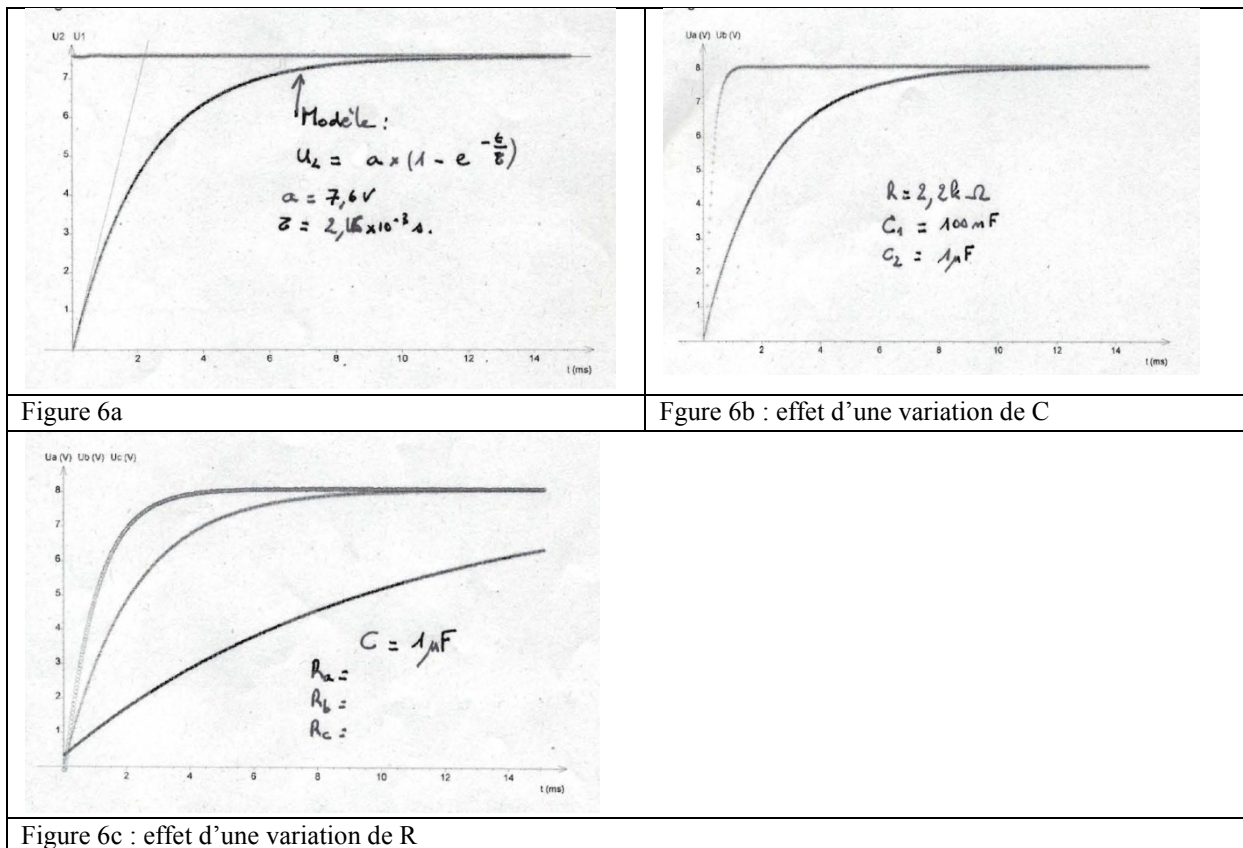


Figure 6 : les figures 6a, 6b et 6c sont obtenues à partir du scan que nous avons effectué du cahier de l'enseignant

- Épisode 2011\_01\_14\_32

L'enseignant fait le montage d'un dipôle RC avec une valeur de C=1microfarad. Il réalise une acquisition avec ME, un traitement avec Regressi et projette la courbe obtenue (courbe de la figure 6a).

\*\*\* L'enseignant explicite qu'il va faire une acquisition avec une valeur de C=100 nanofarad pour voir l'effet du condensateur. Il montre aux élèves qu'il enlève un condensateur du montage et le remplace par un autre.

- Épisode 2011\_01\_14\_33

L'enseignant redémarre l'acquisition avec  $C=100$  nanofarad plusieurs fois ; il n'obtient pas une deuxième courbe. Il explicite que le problème est dû à un faux-contact.

- Épisode 2011\_01\_14\_35

L'enseignant vise à réaliser deux acquisitions avec deux valeurs différentes de  $C$  (1 microfarad et 100 nanofarad). A cause des dysfonctionnements techniques, l'enseignant décide de réaliser l'acquisition avec d'autres valeurs de  $C$  : 1 microfarad et 100 microfarad. Il réalise l'acquisition et projette les deux courbes obtenues avec ME.

- Épisode 2011\_01\_14\_36

L'enseignant projette les deux courbes obtenues après acquisition (figure 7). Il pointe la courbe d'en haut en disant qu'elle est obtenue avec une valeur 10 fois plus petites par rapport à la deuxième courbe. Il déduit que si  $C$  augmente le condensateur se charge plus lentement. L'enseignant inscrit les valeurs de  $C$  sur les courbes projetées et demande aux élèves de compléter une phrase dans l'activité 3.

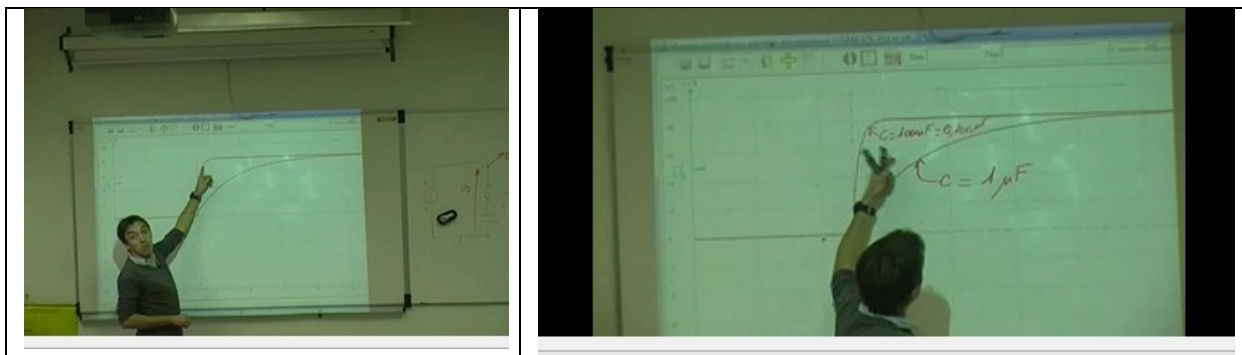


Figure 7: deux copies d'écran pour étudier les effets de la variation de  $C$  : sur la première nous voyons les deux courbes projetées et sur la deuxième nous voyons les inscriptions de la valeur de  $C$  pour chaque courbe ; les deux courbes sont obtenues en réalisant une acquisition devant les élèves.

- Épisode 2011\_01\_14\_37

Toujours dans la quatrième séance de cours, l'enseignant explique qu'il faut suivre le même raisonnement pour voir l'effet de variation de  $R$  sur  $\tau$ . Il précise qu'il ne réalise pas une acquisition en temps réel. Il projette trois courbes de  $u(t)$  préalablement sauvegardées dans Regressi tout en précisant qu'il n'a pas pris les mêmes valeurs de  $R$  que dans la figure 6c du document qu'il a distribué.

- Épisode 2011\_01\_14\_38

L'enseignant précise que l'effet de l'augmentation de R est le même que s'il y a augmentation de C, le temps de charge est plus long. L'enseignant inscrit les valeurs de R pour chacune des trois courbes projetées (figure 8).

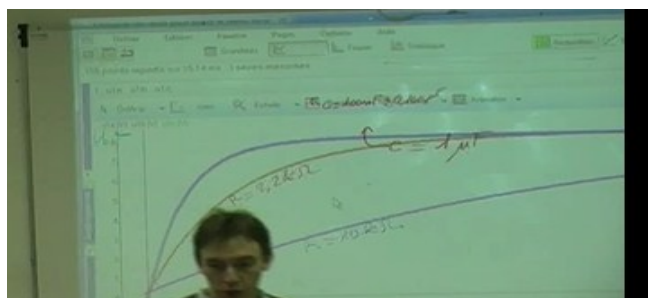


Figure 4 : sur cette copie d'écran, l'enseignant attribue les valeurs de R pour les trois courbes projetées pour étudier l'effet de la variation de R (ces trois courbes étaient sauvegardées dans Regressi).

- Épisode 2011\_01\_14\_41

L'enseignant appelle de la figure 1 et précise la valeur de la résistance et du condensateur : 2,2 kΩ et la valeur de C = 1 μF. L'enseignant annonce alors que le lien entre ces valeurs avec tau.

- Épisode 2011\_01\_14\_43

L'enseignant explicite que le but de l'activité 4 est de trouver une constante de temps qui s'exprime en seconde et qui caractérise l'évolution. L'enseignant demande aux élèves de penser à R et à C pour donner une expression qui s'exprime en seconde.

L'enseignant explique aux élèves qu'il faut faire « *une petite espèce de salade, une manipulation des dimensions en ramenant des formules en électricité que vous connaissez* ». L'enseignant précise que les élèves ne connaissent que deux formules en électricité où il y a R et C :  $U = R \times i$  et  $q = C \times u$ .

- Épisode 2011\_01\_14\_44

L'enseignant précise aux élèves qu'il est dans l'activité 4. Il explicite que dans l'analyse dimensionnelle ce qui est important est de mettre les symboles entre crochets sauf pour les sept unités fondamentales. L'enseignant écrit la dimension de  $[R] = [U]/[I]$  ; de  $[C] = [Q]/[U]$ .

- Épisode 2011\_01\_14\_45

L'enseignant explicite qu'il faut trouver une dimension temps en se servant des deux expressions mathématiques qu'il vient de noter au tableau. Il demande aux élèves la relation qu'ils ont utilisée la semaine dernière en électricité et qui contient un temps. L'enseignant répète l'expression prononcé par un élève  $q = i/t$  ; il note au tableau  $[Q] = [I]/T$ .

- Épisode 2011\_01\_14\_46

L'enseignant explique qu'il est possible de trouver une relation mathématique qui fait intervenir les trois relations pour donner une dimension temps. Il reformule sa question de la façon suivante : « est-ce que une seconde est : un farad multiplié par ohm, un ohm multiplié par farad au carré, un farad au cube divisé par ohm... ».

L'enseignant explicite que ce n'est pas absurde dans la mesure où ils cherchent un temps caractéristique du dipôle RC ; il fait un appel à l'activité 3 pour rappeler que R et C influencent sur la constante de temps.

- Épisode 2011\_01\_14\_48

L'enseignant demande aux élèves de lui proposer une expression pour tau. Il précise qu'il faut éliminer i et q ; également il propose que « *le mieux est de partir du temps* ».

- Épisode 2011\_01\_14\_49

L'enseignant adopte un discours dialogique : il prend en considération le point de vue de l'élève qui est parti de  $R=U/I$  pour trouver  $r = [C] / [T]$ , l'enseignant fait une analyse dimensionnelle et signale que l'expression proposée par l'élève n'est pas correcte ; il s'agit d'une erreur de manipulation des expressions algébriques.

- Épisode 2011\_01\_14\_50

L'enseignant utilise une deuxième méthode pour le calcul dimensionnel en partant du temps ;  $[T]=[Q]/[I]$ . Il remplace  $[Q]$  par  $[C].[U]$  et  $[I]=[Q]/T$  et conclut que la dimension  $\text{temps}=[R].[C]$

- Épisode 2011\_01\_14\_51

Après le calcul dimensionnel, l'enseignant conclut qu'un produit d'un ohm (unité du système international de la résistance) par un farad (unité du système international de la capacité) donne des secondes. L'enseignant explicite que « *je viens de démontrer qu'un produit de résistance avec la capacité est un temps, c'est un temps mais je n'ai pas dit lequel et on va l'appeler tau* »

- Épisode 2011\_01\_14\_52

L'enseignant signale que tau est une grandeur homogène à un temps caractéristique du dipôle RC. Il précise aux élèves qu'ils doivent être capables de démontrer  $\text{tau}=R.C$  à la dimension d'un temps.

- Épisode 2011\_01\_14\_54

[...] L'enseignant utilise l'expression de  $\tau = R.C$  pour calculer la valeur de  $\tau$  à partir de  $R$  et  $C$  ; la valeur trouvée est  $\tau = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ s}$  ; elle correspond à une des courbes de la figure 2b du document « annexe » de l'activité 3.

- Épisode 2011\_01\_14\_55

L'enseignant explique que la valeur de  $\tau$  obtenue par l'expression algébrique est égale à la même valeur de constante obtenue par Regressi qui modélise selon le modèle :  $a.(1-e^{-t/\tau})$ . L'enseignant précise que ce modèle exponentiel n'est pas nouveau et fait un appel du modèle qu'ils ont déjà vu en radioactivité. L'enseignant écrit au tableau à côté de la valeur numérique obtenue par l'expression algébrique « *c'est la même valeur obtenue à l'aide de la modélisation numérique* ».

- Épisode 2011\_01\_14\_56

L'enseignant vérifie s'il a répondu à la totalité des questions de l'activité 4 et se rend compte qu'il n'a pas corrigé la 1<sup>ère</sup> question sur l'effet de  $R$  et de  $C$  sur  $\tau$ .

L'enseignant fait un appel sur l'incidence de l'augmentation de  $C$  et de  $R$  sur la valeur de  $\tau$  ( $\tau$  étant proportionnel à  $R$  et à  $C$ ) ; il explicite qu'ils ont observé l'effet de ces paramètres sur  $\tau$  à travers les courbes.

- Épisode 2011\_01\_14\_57

L'enseignant explique qu'il a passé sous silence quelque chose que les élèves ont observé en TP : le changement de la valeur de  $U_0$  aux bornes du générateur n'a aucun effet sur  $\tau$ .

L'enseignant essaye de réaliser des acquisitions avec différentes valeurs d' $U_0$  pour illustrer ses propos. Les allures des courbes obtenues sont « dramatiques » (figure 9) à cause de problèmes techniques. Il arrête la démonstration et annonce que cette expérience sera reproduite dans le prochain TP pour vérifier ses dires.

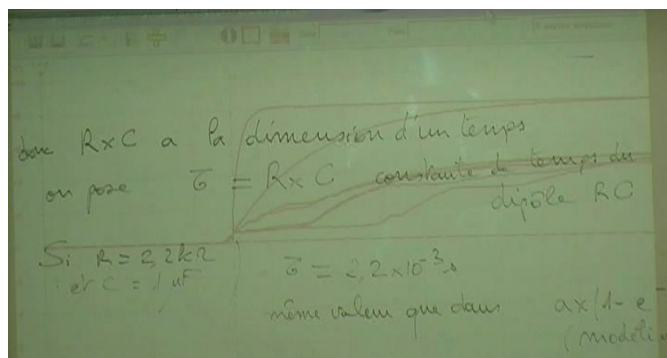


Figure 9 : Copie d'écran des courbes de  $u(t)$  lors du changement de la valeur de la tension aux bornes du générateur.

- Épisode 2011\_01\_14\_58

Tout en distribuant les documents de l'activité 5, l'enseignant réagit à la question d'un élève. L'enseignant répond que si la valeur de  $U_0$  devient plus grand et par conséquent le condensateur ne se charge pas plus rapidement ; ce changement n'a aucun effet sur le dipôle RC.

L'élève reformule sa question : « *si on augmente l'intensité du générateur et non pas la tension, tau ne va pas changer* ». L'enseignant précise qu'il utilise un générateur de tension qui impose la tension à ses bornes alors que le courant varie. Il précise que le générateur de courant impose un courant à ses bornes et fait un appel pour préciser qu'ils ont utilisé le générateur d'intensité seulement dans l'activité 2.

- Épisode 2011\_01\_14\_77

L'enseignant résout analytiquement l'équation différentielle lors de la charge du condensateur et il vise à montrer que  $A e^{(\alpha t + B)}$  est une solution de  $dU_c/dt + 1/RC U_c = U_0/RC$ .

\*\*\* L'enseignant explicite qu'il a démontré que « *Regressi modélise avec un modèle du type  $U_c = U_0 (1 - e^{-t/RC})$  Le « a » que Regressi a trouvé correspond à  $U_0$  ; le tau obtenu par Regressi est  $R.C$*  ».

## Séance 5

- 2011\_01\_17\_07

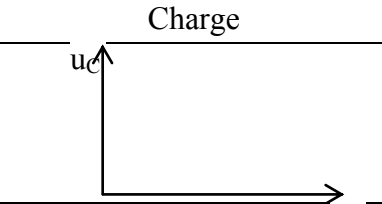
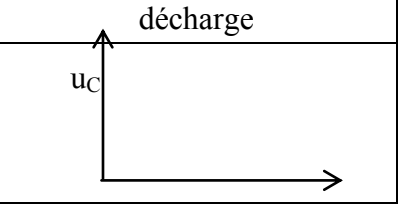
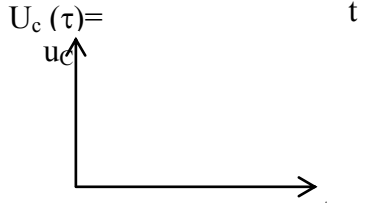
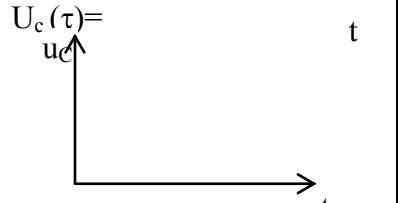
La cinquième séance est un TP. Pendant ce TP l'enseignant résout l'équation différentielle lors de la charge du dipôle RC, il précise que  $-B/RC + U_0/RC$  est une constante (figure 10).

Figure 10 : Copie d'écran lors de la résolution de l'équation différentielle

\*\*\* L'enseignant arrête la résolution de l'équation différentielle et adopte un discours dialogique et fait un appel à une question qui lui a été posée par un élève dans une discussion privée : « *tout à l'heure, on a dit que R.C est un temps* ». L'enseignant explicite que R.C est un temps constant (tau) et non pas le temps qui passe. Il précise que RC est un temps car il est exprimé en seconde mais c'est une valeur constante. L'enseignant reprend le calcul et déduit alpha et B.

- 2011\_01\_17\_14

Après avoir résolu l'équation différentielle, trouvé alpha et B, l'enseignant projette l'activité 6 (encadré 2) pour compléter la partie C (déterminer graphiquement tau selon trois techniques) de cette activité. Il explique que l'équation différentielle a des propriétés mathématiques et graphiques qui permettent la détermination de tau. Il annonce qu'ils vont voir cela avec Regressi dans un instant.

C- Application à la détermination (graphique) de $\tau$		
Lorsqu'on a la représentation graphique de $U_c$ en fonction du temps, trois méthodes sont envisageables :		
	Charge	décharge
1 <sup>ère</sup> méthode : par tracé de la tangente à l'origine cf exercice 15 page 148		
2 <sup>e</sup> méthode : par repérage de la valeur de $U_c$ à l'instant $t=\tau$		
3 <sup>e</sup> méthode : par repérage du temps nécessaire pour que charge ou décharge soit effectuée à moitié	On peut noter $t_{1/2}$ la durée nécessaire pour que la tension $U_c$ ait diminué de moitié.  On montre alors que dans les deux cas : $t_{1/2} = \tau \ln 2$	On peut noter $t_{1/2}$ la durée nécessaire pour que la tension $U_c$ ait atteint la moitié de sa valeur finale.

Encadré 2 : Partie c de l'activité 6



- 2011\_01\_17\_16

L'enseignant trace les courbes de  $U$  en fonction de du temps et les asymptotes ( $U_0$ ) dans le cas de la charge et de la décharge sur la partie c de l'activité 6 projetée au tableau.

\*\*\* L'enseignant précise aux élèves qu'il n'est demandé que de retenir deux techniques pour le baccalauréat. Il précise qu'il va expliquer, même si cela n'est pas demandé, le principe de ces deux techniques afin que les élèves ne les oublient pas.

L'enseignant précise qu'ils ont vu la première technique pour calculer  $\tau$ . Elle consiste à tracer la tangente à l'origine dans le cas de la charge ou de la décharge. Il annonce qu'ils vont voir que Regressi trace cette tangente. Dans le cas de la charge, la tangente coupe l'asymptote ( $U_0$ ) à l'instant  $\tau$ . Lors de la décharge, la tangente coupe l'axe des abscisses en  $\tau$ . Pour démontrer cette technique c'est simple, il suffit d'écrire l'équation de la tangente ( $y=a.x$ ).

- 2011\_01\_17\_17

L'enseignant présente une deuxième méthode pour calculer la valeur de  $\tau$  ; il appelle la méthode qui vient d'être proposée par un étudiant et qui consiste à prendre  $t=\tau$  et de le remplacer dans l'équation différentielle.

L'enseignant effectue le remplacement de  $t=\tau$  dans l'équation différentielle, cela donne :  $\tau=0,63U_0$  (63% de la valeur maximum) dans le cas de la charge et  $0,37U_0$  (37% de la valeur maximum) lors de la décharge. L'enseignant demande aux élèves d'être attentifs quand ils placent  $0,63U_0$  ou  $0,37U_0$  sur l'axe des ordonnées pour trouver la valeur de  $\tau$ . L'enseignant demande aux élèves de faire en sorte d'avoir la même valeur de  $\tau$  quand ils complètent la 2<sup>ème</sup> méthode pour trouver  $\tau$  car  $\tau$  est le même lors de la charge et de la décharge pour un dipôle donné (l'enseignant refait en sorte d'avoir la même valeur de  $\tau$ ).

L'enseignant précise que pour une vraie courbe, une courbe expérimentale donnée qu'il a distribué le vendredi dans la séance 4 (figure 6), les deux méthodes sont parfaitement cohérentes et donnent la même valeur.

L'enseignant répond qu'il est d'accord avec un élève que la méthode de la tangente est utile si les élèves n'ont pas la valeur de  $U_0$ . Il continue en précisant qu'avec la méthode de  $0,63U_0$  la valeur est plus précise. L'enseignant fait un appel vers la séquence de cinétique au début de l'année pour expliciter que le fait de tracer la tangente à l'origine ne donne pas des valeurs précises.

- 2011\_01\_17\_18

L'enseignant est en train de compléter la partie c de l'activité 6 tout en parlant de la troisième technique pour calculer tau. L'appel envoie vers la séquence de la cinétique en précisant que cette technique est en lien avec le temps de demi-réaction. Il fait également un deuxième appel vers la séquence de radioactivité en précisant que cette technique se calque à la définition du temps de la demi-vie. L'idée consiste à établir une relation entre le temps de demi-charge, la demi-décharge, qu'ils ont vu, et tau ;  $t_{1/2} = t \ln 2$ .

Pour démontrer cette relation, l'enseignant explique qu'il suffit de remplacer  $U = U_0/2$  dans l'équation différentielle. Il trace au tableau, avec un marqueur bleu, la droite  $U = U_0/2$  sur les mêmes courbes que tau avec la deuxième technique. L'enseignant se retrouve avec une valeur du temps de demi-charge inférieur à la valeur de tau obtenue par la deuxième technique ; il explique que cela se justifie par  $\ln 2$  est plus petit que 1.

- 2011\_01\_17\_19

Après l'explication des trois techniques pour déterminer tau, l'enseignant lit la remarque inscrite à la fin de la partie C de l'activité 6. Il demande aux élèves de se souvenir et d'être attentifs à leur réponse le jour de l'épreuve expérimentale, pour que le temps de charge du condensateur soit de 5 tau et non pas tau. Il ajoute l'idée que tau « *caractérise le temps de charge, (tau donne une idée sur la rapidité avec laquelle le condensateur se charge mais il faut attendre 4 ou 5 tau, 4 ou 5 tau il n'y a pas de règle, mais on considère qu'à partir de 4 ou 5 tau le condensateur est chargé ou déchargé complètement* ».

- 2011\_01\_17\_24

L'enseignant projette l'activité 3 du dipôle RC. Il demande aux élèves de réaliser le montage de l'activité 3 et de refaire les acquisitions pour voir les effets de R, C et de  $U_0$  sur le temps caractéristique de la charge d'un condensateur. Il dicte la valeur de R et de C à prendre,  $R = 2,2 \text{ k}\Omega$  et  $1 \text{ }\mu\text{F}$ , tout en précisant que ces valeurs correspondent à une courbe sur laquelle ils ont travaillé vendredi (appel).

- 2011\_01\_17\_51

A l'aide d'une application sur l'ordinateur central, l'enseignant projette l'écran d'un binôme au tableau. Il s'agit d'une courbes de  $u(t)$  produite avec le logiciel Regressi. Ensuite, l'enseignant se rend au tableau pour effacer ce qui est écrit et pour passer à une nouvelle activité.

\*\*\* Une fois au tableau, l'enseignant pointe du doigt la valeur expérimentale de tau affichée dans Regressi. Il annonce que les élèves connaissent la valeur théorique de tau : 2,2 kΩ et 1 μF et que la valeur affichée dans Regressi est la valeur expérimentale.

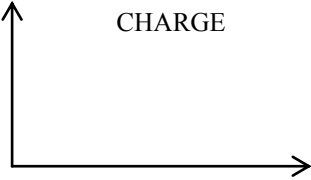
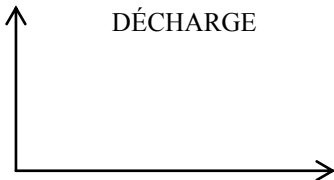
- 2011\_01\_17\_54

Comparaison de la valeur de tau théorique à tau obtenue par Regressi

## Séance 6

- 2011\_01\_18\_08

L'enseignant projette un diaporama mais le discours porte sur la partie B du modèle (encadré 3)

<p><b>B- Dipôle RC</b>  On appelle dipôle RC l'association en série d'un conducteur ohmique de résistance R et d'un condensateur de capacité C.  Lorsqu'un dipôle RC est soumis à une tension constante U, la tension aux bornes du condensateur <math>U_c</math> met un certain temps à atteindre cette valeur U (charge du condensateur).  De même, lorsqu'on applique une tension nulle au dipôle (court-circuit), la tension <math>U_c</math> met un certain temps à devenir nulle.</p>	
 <p>CHARGE</p>	 <p>DÉCHARGE</p>
<p>Équation différentielle vérifiée par <math>u_c</math> :  Expression de <math>U_c</math> :  Constante du temps :</p>	

Encadré 3 : La partie B du modèle de dipôle RC.

L'enseignant donne des consignes orales aux élèves pour compléter le modèle, tracer les courbes, tracer les l'asymptote et compléter les axes (t en abscisse,  $U_c$  en ordonné), et respecter les notations.

\*\*\* L'enseignant trace l'allure de la courbe  $u(t)$  et l'asymptote sur une surface blanche par rapport à la projection de diaporama et demande aux élèves de les compléter. L'enseignant cherche son modèle en version papier pour dicter aux élèves ce qu'ils ont à remplir. Il demande de compléter ce qui manque sur l'axe des abscisses (t) et sur l'axe des ordonnées ( $U_c$ ). L'enseignant précise aux élève qu'ils peuvent ajouter, à côté de la courbe sur la fiche

modèle, au moins une technique pour déterminer la valeur de  $\tau$  ; il trace la tangente et fait un appel sur la façon dont Regressi procède pour calculer  $\tau$  : « *vous avez tous remarqué hier quand vous avez modélisé avec Regressi que Regressi trace cette tangente dès qu'il calcule le modèle, pourquoi ? Pour Regressi c'est très important car c'est une façon de trouver l'expression de l'exponentielle en particulier, la tangente lui donne  $\tau$  /l'enseignant précise la place de  $\tau$  sur l'axe des abscisses/* » (figure 11). L'enseignant explicite qu'il y a aussi la méthode de  $0,63U_0$ . Il explicite que s'il utilise cette méthode il va trouver que les deux techniques donnent la même valeur de la constante de temps.

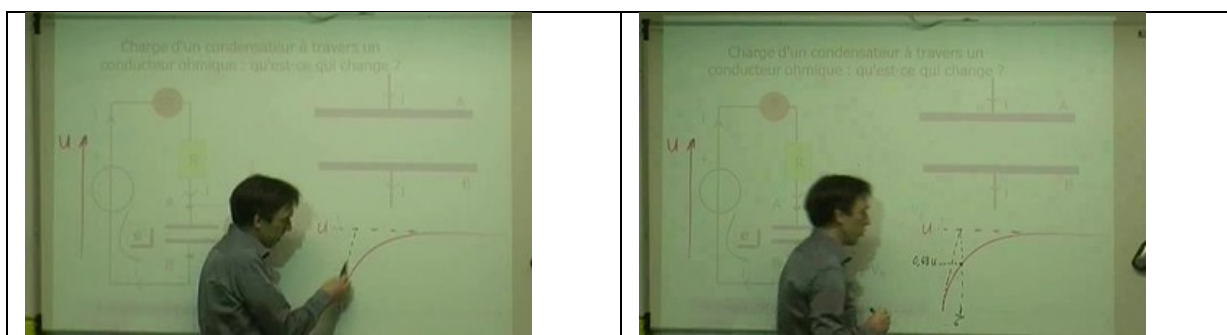


Figure 11 : Deux copies d'écran : la première est une inscription de la première méthode ; la deuxième copie d'écran montre les inscriptions les deux techniques graphiques pour déterminer la valeur de  $\tau$ .

- 2011\_01\_18\_11

L'enseignant complète toujours la fiche modèle du dipôle RC ; il arrive à la question « expression de  $\tau$  ». Il dicte la réponse aux élèves :  $\tau = R.C$  tout en précisant que c'est la même expression dans le cas de la charge et dans le cas de la décharge.

## Séance 7

- 2011\_01\_24\_47

L'enseignant demande aux élèves de réaliser la tâche prescrite suivante :

- effectuer des acquisitions pour un circuit RL aux bornes de la résistance avec ME ; les réglages de ME sont indiqués au début de l'activité ;
- compléter le tableau ci dessous (encadré 4).

### Activité 2 du chapitre RL

[...] Cette évolution est caractérisée par une constante de temps notée  $\tau$ .

Pour diminuer la valeur de  $L$ , il convient de retirer en partie le noyau de fer situé à l'intérieur de la bobine.

2. Compléter le tableau en indiquant les différentes grandeurs pouvant *a priori* influencer la constante de temps  $\tau$  (compléter aussi la partie du tableau qui concerne le dipôle RC).
3. Réaliser les acquisitions adéquates pour compléter le tableau.

Dipôle RL



Cas du dipôle RC



	Si . . . . augmente,	<input type="checkbox"/> augmente <input type="checkbox"/> ne varie pas <input type="checkbox"/> diminue	Si R augmente,	<input type="checkbox"/> augmente <input type="checkbox"/> ne varie pas <input type="checkbox"/> diminue	
	Si . . . . augmente,	<input type="checkbox"/> augmente <input type="checkbox"/> ne varie pas <input type="checkbox"/> diminue	Si C augmente,	<input type="checkbox"/> augmente <input type="checkbox"/> ne varie pas <input type="checkbox"/> diminue	
	Si . . . . . augmente,	<input type="checkbox"/> augmente <input type="checkbox"/> ne varie pas <input type="checkbox"/> diminue	Si $U_0$ augmente,	<input type="checkbox"/> augmente <input type="checkbox"/> ne varie pas <input type="checkbox"/> diminue	
Encadré 4 : Partie de l'activité 2 du dipôle RL. Les élèves ont a réalisé cette activité en TP et à compléter ce tableau					

\*\*\* L'enseignant utilise son poste fixe pour choisir et projeter l'écran d'un des binômes. Sur l'écran projeté, il y a trois courbes tracées avec le logiciel ME (figure 12) concernant l'établissement du courant dans un dipôle RL ; la seule différence entre ces trois courbes provient des différentes valeurs prises pour la résistance.

L'enseignant explicite « *qu'il y a un souci* » par rapport à ces courbes ; ce souci est lié à un décalage de temps entre les trois courbes au démarrage de l'acquisition. Ce décalage du temps de démarrage de l'acquisition n'empêche pas de voir l'effet de R sur tau. Il compare la constante de temps d'une courbe par rapport aux deux autres.

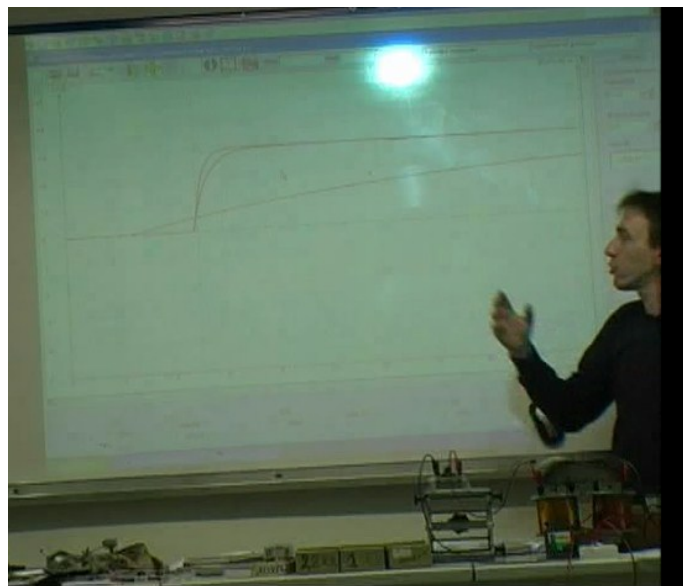


Figure 12 : Copie d'écran permettant de visualise les trois courbes projetées obtenues par une acquisition des mesures avec ME (circuit RL).

- 2011\_01\_24\_48

L'enseignant explicite qu'ils vont suivre le même principe pour visualiser l'effet de l'inductance (L) sur tau. L'enseignant fait un appel que « L » est la caractéristique d'une bobine qui permet de mesurer le caractère de la bobine : plus il y a du fer à l'intérieur de la

bobine, et plus «  $L$  » sera plus grand. Il demande aux élèves de réaliser des acquisitions de  $i(t)$  en changeant la valeur de  $L$ .

- 2011\_01\_24\_52

L'enseignant projette l'écran de l'un des binômes pour voir l'effet de  $U_0$  sur l'évolution temporelle du courant en fonction de temps. Sur l'écran projeté, il y a trois courbes de  $i(t)$  obtenues par ME. L'enseignant pointe son doigt sur l'écran projeté en disant qu'il y a deux valeurs différentes de  $U_0$  : 7 V et 3 V. L'enseignant explicite qu'avec ME il est possible de déplacer le curseur. Il positionne le curseur<sup>1</sup> exactement pour que la valeur de la tension soit à 0,63 de la valeur max de 7V ; l'abscisse est tau.

1 2011\_01\_24\_53

L'enseignant interprète les courbes ; il montre que la place du curseur à  $0,63U_0$  de 4V passe aussi par  $0,63U_0$  de 2V (figure 9a). L'enseignant conclut qu' $U_0$  n'a pas d'influence sur la constante du temps.

L'enseignant explicite aussi qu'il obtient le même résultat avec la méthode de la dérivée ; il trace la tangente et l'asymptote pour deux courbes (figure 13b) et trouve la même valeur de tau ; il conclut qu'effectivement  $U_0$  n'a aucun effet sur tau.

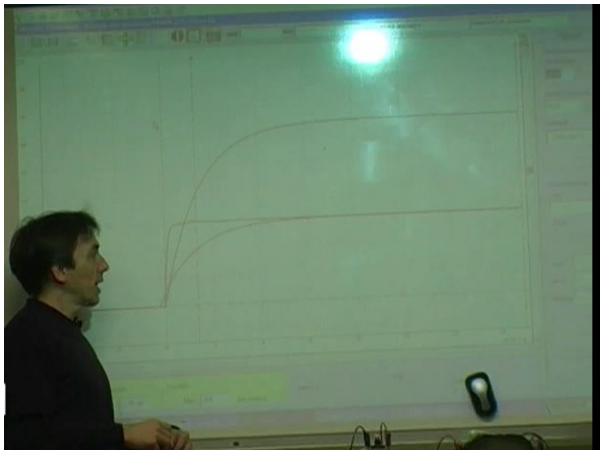
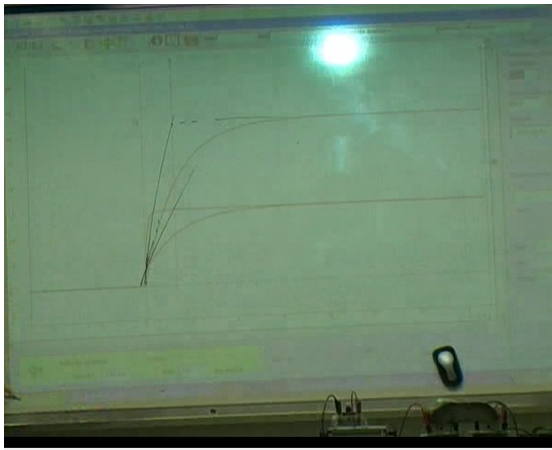
	
<p>Figure 13a : Copie d'écran où nous observons une droite verticale en pointillée (curseur) placée à <math>0,63U_0</math> avec <math>U_0=4V</math>.</p>	<p>Figure 13b : Copie d'écran où nous visualisons les tangentes tracés par l'enseignant.</p>

Figure 13 : deux copies d'écran du même épisode.

<sup>1</sup> Le logiciel offre la possibilité de déplacer un trait vertical pour afficher la valeur de la fonction pour une valeur donnée de la variable.

- 2011\_01\_24\_54

L'enseignant fait un appel du chapitre 1 (il dit « *dans le chapitre 1, nous avons vu* ») ils ont mis en évidence que quand R augmente tau augmente, quand C augmente tau augmente. Il écrit les effets de ces paramètres dans le cas du dipôle RL au tableau : quand R augmente, tau diminue, quand L augmente (plus de fer dans la bobine) tau augmente ; quand  $U_0$  augmente, rien ne va changer.

- 2011\_01\_24\_55

Après cette conclusion sur les différents paramètres influençant tau dans le cas du dipôle RL, l'enseignant précise que pour le moment ils ne connaissent pas L. Il demande aux élèves de lui proposer une expression simple pour la constante du temps ; il précise que dans cette expression L doit exister car antérieurement ils ont vu que « L » influence tau (appel). Le binôme filmé propose l'expression mathématique suivante  $\tau = L/R$ . L'enseignant réplique au binôme que cette assertion pourrait être vraie. L'enseignant adopte un discours dialogique, il fait deux appels de deux propositions de binômes pour l'expression de tau lors de la discussion privée qu'il a menée avec eux.

L'enseignant explicite et commente la proposition de deux binômes :

- un binôme a proposé l'expression de  $\tau = L.R$  en raisonnant par analogie sur l'expression de tau pour le dipôle RC. Cette réponse n'est pas possible car quand R augmente, tau diminue ;
- un binôme a proposé  $1/L.R$  ; Cette réponse n'est pas possible car quand L augmente, tau augmente.

L'enseignant conclut  $\tau = L/R$ .

- 2011\_01\_24\_66

L'enseignant explique aux élèves que pour travailler l'activité 3 intitulée « *Modélisation numérique de  $i(t)$ ; détermination expérimentale de L* », ils ont à refaire une acquisition, poser  $t = L/R$  pour l'établissement comme pour la rupture du courant.

Le but est d'essayer de vérifier qu'avec la valeur théorique de L affichée sur la bobine avec la valeur de L obtenue en se servant de l'expression de  $t = L/R$  (tau affichée sur Regressi). L'enseignant explicite : « *on va faire une acquisition pour un établissement de courant avec régime permanent, régime transitoire ; une modélisation en exponentielle et vérification de la constante du temps* ». Il redonne les réglages pour ME et ajoute qu'il faut ouvrir Regressi avant d'envoyer les données de ME sinon, Regressi ne va pas fonctionner.

Pour modéliser la valeur de l'intensité dans Regressi, il faut définir une nouvelle variable  $i=u_1/2200$ . L'enseignant demande aux élèves de choisir une valeur déterminée de L tout en procédant à une démonstration. Il annonce qu'ils vont retrouver cette valeur grâce à Regressi.

- 2011\_01\_24\_72

Lors de la réalisation des acquisitions et des traitements sous Regressi, l'enseignant circule entre les binômes. Il demande à toute la classe de vérifier que l'abscisse de la tangente tracée par Regressi correspond à tau. Il monte au tableau et pointe avec son doigt, sur l'écran d'un binôme, la possibilité de vérifier à l'aide de l'outil réticule (l'outil précise l'abscisse et l'ordonnée pour un point donné).

- 2011\_01\_24\_75

L'enseignant tourne derrière les binômes, il leur demande de vérifier que la valeur de tau obtenue avec les deux techniques est égale à la valeur de tau obtenue par Regressi qui calcule tau mathématiquement ; l'enseignant explicite qu'il faut vérifier que l'abscisse de l'intersection avec la tangente et l'asymptote et par la technique de 0,63 de la valeur maximum de U. Il répète que l'outil réticule permet de voir en temps réel l'abscisse et l'ordonnée d'un point.

- 2011\_01\_24\_77

L'enseignant fait pour tout groupe un appel à la question suivante qui lui a été posée par un binôme : « *pourquoi dans Regressi on a trois expressions sous la rubrique expression du modèle* ».

Il montre sur la projection que Regressi affiche trois expressions car il donne l'expression de tout ce qu'il trace :

- la première équation correspond à la modélisation de  $i(t)$  sous format exponentiel croissant ;
- la deuxième équation,  $i(t)=a$ , permet de tracer l'asymptote « *donc, Regressi détecte où la courbe finit pour afficher la valeur correspond à « a »* » ;
- la troisième équation permet de tracer la tangente, l'enseignant précise que Regressi fonctionne comme les élèves pour tracer la tangente, il trace  $a(t)=\tau$ , il dérive la première expression, il prend une valeur à  $t=0$  et il trace la droite de pente  $a/t$ .

L'enseignant demande aux élèves d'essayer de supprimer une des expressions du modèle dans Regressi, alors le logiciel va supprimer la courbe correspondante.



## Séance 8

- 2011\_01\_25\_30

Dans la huitième séance de la séquence, l'enseignant corrige l'activité 2 du dipôle RL (figure 14). Il projette l'activité et la complète avec les grandeurs pouvant, *a priori*, influencer sur tau dans le cas du dipôle RC et RL (appel sur l'effet des paramètres R, C, U dans le cas du dipôle RC et des paramètres R, L, U dans le cas du dipôle RL). Il explique que la différence est dans le rôle de la résistance.

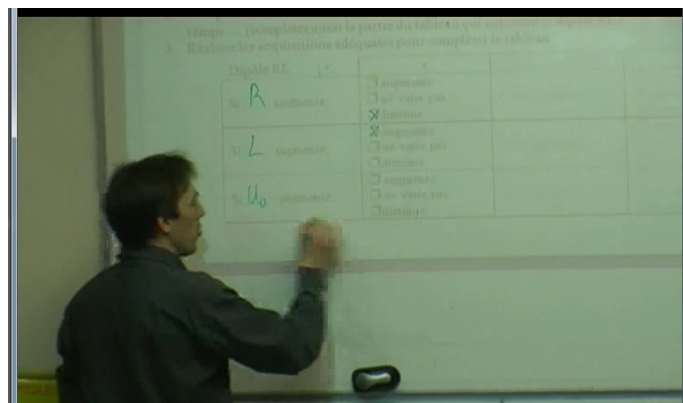


Figure 14: Copie d'écran de l'épisode 31 (2011\_01\_25\_30).

- 2011\_01\_25\_34

Après la distribution d'un document appelé « *formalisme de l'équation différentielle* » entre le dipôle RC et RL (encadré 5), l'enseignant complète l'équation différentielle de la tension aux bornes du dipôle RC.

\*\*\* L'enseignant explicite que les élèves doivent être capables de déduire l'équation différentielle de  $i(t)$ . Il fait un appel pour préciser que  $i$  évolue en exponentielle croissante et déduit que cette évolution est similaire à l'évolution de  $u(t)$  pour le dipôle RC. Il fait une avance en complétant l'équation différentielle de l'intensité du dipôle RL. Pour ce faire, l'enseignant procède par analogie entre le  $1/\tau$  dans l'équation différentielle de  $u$  dans le cas du dipôle RC et l'évolution de  $i$  dans le cas du dipôle RL (figure 15). De même dans cet épisode, l'enseignant annonce qu'il va démontrer l'équation différentielle.

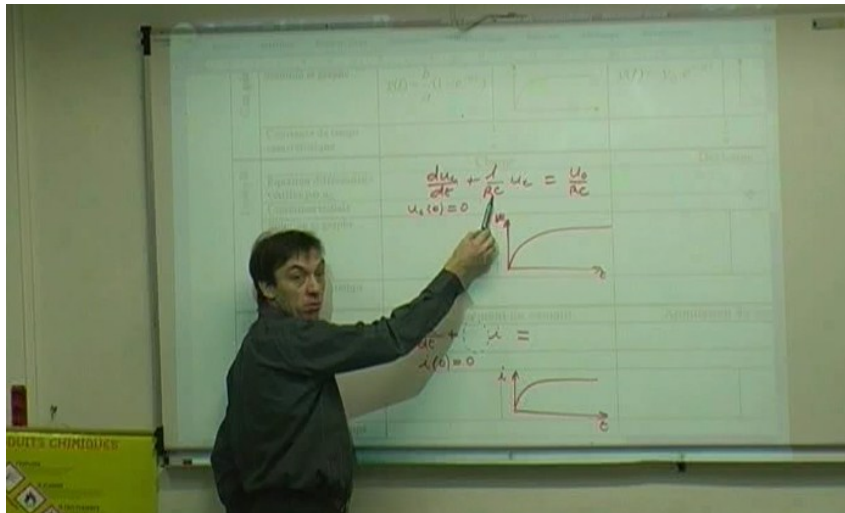
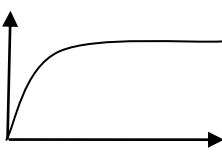
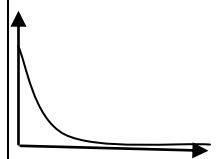


Figure 15 : Copie d'écran ; l'enseignant pointe ce qui est devant  $u$  pour faire une analogie et compléter où il a fait des pointillés devant  $i$ .

Un même formalisme pour le dipôle RC et le dipôle RL...					
Cas général	Équation différentielle	$\frac{dy}{dt}(t) + a.y(t) = b$		$\frac{dy}{dt}(t) + a.y(t) = 0$	
	Condition initiale	$y(t=0)=0$		$y(t=0)=y_0$	
	Solution et graphe	$y(t) = \frac{b}{a}(1 - e^{-at})$ 		$y(t) = y_0.e^{-at}$ 	
	Constante de temps caractéristique	$\frac{1}{a}$		$\frac{1}{a}$	
Dipôle RC		Charge		Décharge	
	Équation différentielle vérifiée par $U_c$				
	Condition initiale				
	Solution et graphe				
	Constante de temps				
Dipôle RL		Etablissement du courant		Annulation du courant	
	Équation différentielle vérifiée par $i$				

	Condition initiale				
	Solution et graphe				
	Constante de temps				

Encadré 5 : Formalisme distribuée par l'enseignant aux élèves.

## Séance 9

- 2011\_01\_28\_42

Dans cette séance de cours et à l'épisode 41, l'enseignant projette deux courbes de  $i(t)$  avec Regressi pour débriefer l'activité 3 du dipôle RL.

\*\*\* A l'épisode 42, l'enseignant s'intéresse à une seule courbe. Il demande à Regressi de tracer  $i_1(t)$  et il la modélise en temps réel en choisissant une exponentielle croissante. En regardant l'écran projeté, l'enseignant se rend compte que Regressi n'a pas pris la police de tau alors il inscrit tau sur l'écran projeté à la place où devait apparaître.

- 2011\_01\_28\_43

Après la projection de la courbe,  $i(t)$ , de l'enseignant rappelle de la méthode de fonctionnement de Regressi. Il précise que Regressi indique (en montrant l'onglet expression du modèle) : la fonction modélisée et ce qui lui a servi pour trouver cette fonction. Deux expressions ont servi pour trouver l'expression de tau : l'asymptote et la tangente à l'origine. Il précise que les élèves doivent être capables de déterminer la tangente à l'origine, ce n'est autre que la dérivée et le remplacement avec  $t=0$ .

- 2011\_01\_28\_44

L'enseignant explicite que Regressi indique « 0,45% d'écart entre la courbe théorique et les points expérimentaux ». Il inscrit la valeur de tau obtenue par Regressi ;  $t=0,23$  ms.

Il note aussi « l'expression théorique » de  $\tau=L/\Sigma R$ . Il explique qu'il faut être rigoureux dans cette expression et préciser qu'il s'agit de la somme de R. L'enseignant explicite que r (15  $\Omega$ ) est négligeable devant R (2200  $\Omega$ ).

- 2011\_01\_28\_45

L'enseignant déduit de la relation mathématique que  $L= R.\tau$ . Il remplace R par la valeur de 2200  $\Omega$  et tau par la valeur de tau donnée par Regressi.

Il explique qu'il a une valeur de  $L$  différente des élèves, car eux ils se servent de la valeur de  $\tau$  qu'ils ont trouvé dans une séance antérieure.

- 2011\_01\_28\_55

L'enseignant projette deux courbes tracées avec Regressi, il pose aux étudiants une question qu'il considère comme classique : « *est ce que la valeur de  $L$  a augmenté ou a diminué* »? L'enseignant reformule sa question : « *la constante de temps a t'elle augmenté ou pas* » ?

A la suite d'une réponse de la part d'un élève «  $\tau$  a augmenté », l'enseignant montre sur la courbe que le régime transitoire est plus long. Il est possible de le vérifier avec la tangente ou d'une autre façon.

- 2011\_01\_28\_56

L'enseignant pose une question « *est-ce qu'il faut prendre  $0,63U_0$  ou  $0,37U_0$  pour trouver  $\tau$  dans ce cas* », pour préciser que  $0,63U_0$  car les courbes sont des courbes d'établissement du courant. L'enseignant pointe l'expression de  $\tau=L/R$  en disant  $\tau$  a augmenté  $\Rightarrow L$  a augmenté.

L'enseignant demande aux élèves de faire attention à leurs termes, il précise qu'il ne faut pas dire charger une bobine.

- 2011\_01\_28\_57

L'enseignant propose de vérifier la prévision avec Regressi. Pour cela, il modélise la courbe rouge,  $i_2(t)$  et il ajuste. L'enseignant se base sur la valeur de  $\tau$  affichée par Regressi ( $\tau=0,60$  ms). Il déduit que la valeur de  $\tau$  a augmenté. L'enseignant utilise cette valeur de  $\tau$  pour calculer  $L$  et trouve  $L=1,32$  H.

- 2011\_01\_28\_58

L'enseignant explique qu'ils ont réussi à obtenir cette valeur quand le fer a été complètement enfoncé dans la bobine.

- 2011\_01\_28\_59

L'enseignant termine le débriefing de l'activité 3 par un appel à la fiche modèle : «  *$\tau$  est le même dans le cas de l'établissement du courant et de la rupture du courant* ».

- 2011\_01\_28\_64

L'enseignant trace le circuit de l'activité 4 au tableau.

\*\*\* Il répond à une question d'un élève et annonce qu'il va y revenir plus tard. Pour répondre, il écrit l'expression de la tension aux bornes de la bobine ( $u=r.i+Ldi/dt$ ) et précise l'unité de

chaque symbole de la deuxième moitié de l'expression (figure 16). Il en déduit que  $1 \text{ H.A.s}^{-1} = 1 \text{ V}$

$$U_{\text{bobine}} = r.i + L \frac{di}{dt}$$

$1 \text{ H.A.s}^{-1} = 1 \text{ V}$

Figure 16 : Copie d'écran de l'épisode 64 de la séance 9 (2011\_01\_28\_64).

- 2011\_01\_28\_66

L'enseignant écrit la loi d'additivité des tensions pour le circuit tracé lors de l'établissement du courant :  $U_{\text{bobine}} + U_R = U_0$ . Il remplace chaque terme par l'expression pour obtenir :  $r.i + L di/dt + R.I$ .

- 2011\_01\_28\_68

L'enseignant applique la loi d'additivité des tensions sur un circuit RL et la met sous la forme  $y' + ay = b$  comme demandé dans l'activité. Il trouve :  $U_0 / L = (r+R).i/L + \frac{di}{dt}$  et demande aux étudiants de compléter le tableau de l'activité.

- 2011\_01\_28\_70

L'enseignant continue la correction de l'activité 4 ; il écrit l'équation différentielle lors de la charge d'un condensateur au dessous de l'équation différentielle sur l'établissement du courant dans la bobine. Il explicite que ce qui est devant  $u$  dans l'équation différentielle est  $1/\tau$  et trouve par analogie que ce qui est devant  $i$  dans l'équation différentielle du dipôle RL est  $1/\tau$ . Il en déduit que la constante de temps est  $\tau = L/(r+R)$  dans le cas du dipôle RL (figure 17).

Loi d'additivité des tensions :  $U_{\text{bobine}} + U_R = U_0$

$$r.i + L \frac{di}{dt} + R.i = U_0$$

$$\frac{di}{dt} + \frac{r+R}{L} . i = \frac{U_0}{L}$$

1/tau = (r+R)/L

Figure 17 : Sur cette copie d'écran ; nous visualisons la façon dont l'enseignant essaye de faire une analogie entre le  $1/\tau$  encerclé par un marqueur rouge et ce qui est devant  $i$  (où on voit sa main).

- 2011\_01\_28\_71

L'enseignant signale qu'il va répondre à la question d'un élève (appel) ; vérifier que  $[L/(R+r)]$  est homogène à un temps. L'enseignant commence par une simplification de  $[L/(R+r)]$  en  $[L/R]$  tout en précisant qu'il écrit des dimensions et non pas des valeurs. Il demande aux élèves les expressions qu'ils connaissent et qui contiennent L et R pour finir à montrer que  $[L/(R+r)]$  est un temps.

# 1 2011\_01\_28\_73

L'enseignant fait une reprise et pose une question sur la relation contenant L. L'enseignant obtient deux réponses de la part des élèves : « *L est la longueur* » et « *L est Henri* ». L'enseignant explicite que « L » est l'inductance.

\*\*\* L'enseignant remplace « L » lors du calcul dimensionnel par  $[H].T.[I]^{-1}/[R]$ . L'enseignant précise qu'il ne met pas de crochets lors des analyses dimensionnelles pour trois variables : temps, longueur et masse.

- 2011\_01\_28\_74

L'enseignant demande aux élèves s'ils ont des questions sur l'analyse dimensionnelle avant de passer à autre chose. Il répond à une question d'un élève pourquoi il peut remplacer  $r+R$  par R car il écrit des dimensions et le fait d'ajouter des ohms à des ohms donne des ohms.

- 2011\_01\_28\_75

L'enseignant continue la correction de l'activité 4. La quatrième question consiste à montrer que la fonction  $i(t)=A.(1-e^{-t/\tau})$  est solution de l'équation différentielle. Il dérive  $i(t)$  et la remplace dans l'équation différentielle qu'il a travaillée dans l'épisode 2011\_01\_28\_68 et qu'il a laissée au tableau. L'enseignant simplifie avec les exponentielles et trouve A ;  $A=U_0/(r+R)$ . L'enseignant explicite que c'est le résultat qu'ils ont trouvé : « *ce n'est autre que la valeur de tau en régime permanent* ».

- 2011\_01\_28\_82

Après la correction de l'activité 4, l'enseignant complète la fiche modèle du dipôle RL (voir annexe 2). Il projette le modèle et commence à le remplir par l'équation différentielle de i aux bornes du dipôle RL

- 2011\_01\_28\_83

Il complète également avec l'expression de tau dans le cas de l'établissement et la rupture du courant au borne du dipôle RL :  $\tau=L/(r+R)$ .

- 2011\_01\_28\_87

L'enseignant explicite que les deux méthodes de détermination de tau utilisées en électricité sont valides d'une part, il trace la tangente sur la courbe lors de l'établissement et de la rupture du courant dans une bobine et précise la place de tau avec un marqueur rouge, d'autre part, et la méthode de  $0,63U_0$  lors de l'établissement de courant et  $0,37U_0$  lors de la rupture du courant (figure 18).

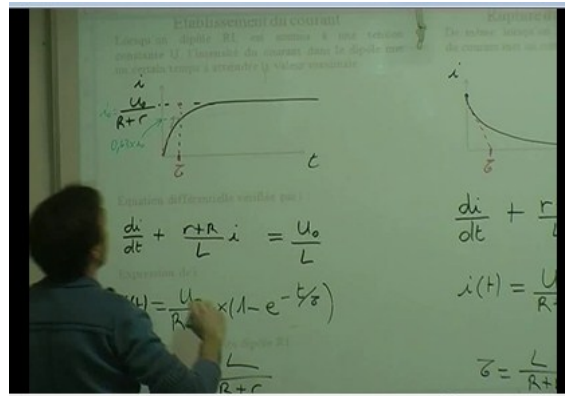


Figure 18 : Copie d'écran où l'enseignant complète les courbes en décrivant les deux techniques pour déterminer la valeur de tau.

- 2011\_01\_28\_88

L'enseignant parle aux élèves de la nécessité de distinguer le fond du problème de la technique de la détermination de tau ; il précise que ce qu'il vient de faire est de la technique surtout qu'il y a des logiciels comme Regressi qui donnent une valeur de tau quasi-instantanément et très précise. Il explique que Regressi attribue des valeurs plus précises que les méthodes graphiques, qu'il faut connaître même si elles sont de moins en moins utilisées.

## Séance 12

- 2011\_02\_04\_09

L'enseignant corrige les exercices qu'il a demandé aux élèves de préparer depuis une semaine.

\*\*\* L'enseignant corrige la deuxième question de l'exercice 14 qui consiste à montrer que la dimension  $[L]/[R]$  est un temps. Il « appelle » qu'ils ont déjà travaillé cette question. L'enseignant explique la traduction de ce qui est demandé « *en français* » : la dimension d'une inductance par une résistance est égale à une dimension temps. Pour le faire, l'enseignant explicite qu'il va rappeler la manière dont ils ont procédé pour répondre à cette

question. L'idée générale consiste à trouver des relations. L'enseignant explicite que certains élèves ont tendance à mélanger des dimensions et des unités et d'écrire  $[L]/[R]=[L]/\Omega$  ou  $[L]/[R]=[L]/[\Omega]$ .

- 2011\_02\_04\_12

L'enseignant interrompt son analyse dimensionnelle de  $[L]/[R]$  et donne un exemple classique de l'analyse dimensionnelle sur la pression afin d'explicitier qu'une dimension peut avoir plusieurs unités comme dans le cas de  $[P]$ . La dimension pression peut avoir trois unités : l'atmosphère, le bar et le pascal ; ce qui n'est pas le cas pour la résistance. L'enseignant précise que les dimensions sont différentes des unités et que ces derniers servent pour le calcul.

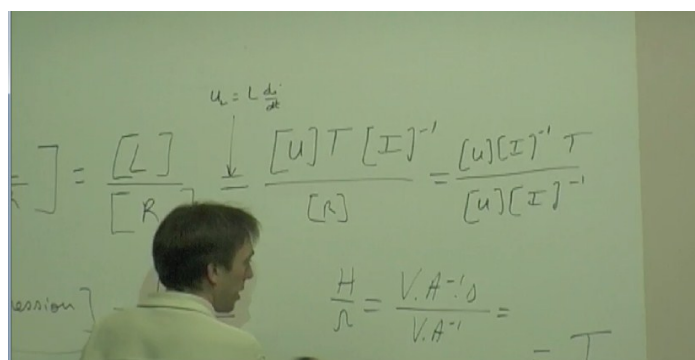
\*\*\* L'enseignant reprend l'analyse dimensionnelle de  $[L]/[R]$ . L'enseignant parle de la nécessité de mettre les crochets et explicite que si les élèves écrivent L sans crochets cela laisse penser que L est une longueur. L'enseignant parle de la nécessité de trouver des relations contenant les variables : L et R. Il remplace chaque terme et arrive à démontrer que  $[L]/[R]$  est un temps ; c'est la troisième fois que l'enseignant fait une analyse dimensionnelle.

- 2011\_02\_04\_13

En attirant l'attention des élèves la nécessité de ne pas mélanger entre les grandeurs et l'unité, il signale que l'analyse dimensionnelle de tau est une question fréquente au baccalauréat. Ensuite, il demande aux élèves de ne pas répondre à la question en utilisant des unités.

- 2011\_02\_04\_15

L'enseignant reprend l'analyse dimensionnelle. Il explique que parfois il est possible de voir des unités au lieu des dimensions (figure 19). Le calcul avec les unités ne cause pas de problème pour l'analyse dimensionnelle de  $L/R$  mais « *c'est délicat et dangereux* » pour l'analyse dimensionnelle de la pression car ca peut empêcher de faire des simplifications.



$$\frac{[L]}{[R]} = \frac{[L]}{[R]} \cdot \frac{[u]^T [I]^{-1}}{[u]^T [I]^{-1}} = \frac{[u][I]^{-1} T}{[u][I]^{-1}}$$

$$\frac{H}{\lambda} = \frac{V \cdot A^{-1} s}{V \cdot A^{-1}} = T$$

Figure 15 : copie d'écran où nous visualisons une analyse dimensionnelle avec les unités dans la première ligne et une analyse dimensionnelle avec les symboles dans la deuxième ligne..







## ANNEXE 9 : Tableau de correspondance

Dans ce qui suit, nous présentons le tableau de correspondance des épisodes codés avec le mot clé « constante de temps » et avec au moins un mot clé des catégories d'articulation. Nous nous basons sur ce tableau pour pouvoir sélectionner les épisodes articulés portant sur un même contenu afin des les utiliser pour étudier la cohérence (première chapitre d'analyse). Le tableau est ci-dessous.

o	Nom de l'épisode codé	Catégorie articulation	Episode de correspondance	Contenu commun	Responsable	Déterminé (D) Ou indéterminé (I)
1.	2011_01_11_51	Appel	Séance 1	« Un groupe de TP a vu l'effet de la variation de C et de R sur l'allure des courbes »	Enseignant	D (vendredi)
		Annonce	2011_01_17_24	Tous les élèves vont revoir les effets de C et de R sur l'allure des courbes u(t)		D (prochain TP)
2.	2011_01_11_52	Appel	Cinétique	Evolution temporelle	Enseignant	D (Cinétique, radioactivité)
		Appel	Radioactivité			
		Reprise	2011_01_11_51	Si C ou R augmente, tau augmente		D (activité 4)
		Annonce	De 2011_01_14_43 à 2011_01_14_50	Trouver tau pour le dipôle RC à partir d'une analyse dimensionnelle		
3.	2011_01_14_36	Appel	2011_01_14_14	Effet de la variation des paramètres C et de R sur le temps de charge	Enseignant	I
4.	2011_01_14_37	Appel	2011_01_14_15	Allure des courbes u(t) lors de la variation de R	Enseignant	

5.	2011_01_14_41	Annonce	2011_01_14_55	Lien entre 2,2 kΩ et 1 μF avec tau	Enseignant	D (même séance)
6.	2011_01_14_46	Appel	2011_01_11_52	Tau dépend de R et de C	Enseignant	D (comme avant)
7.	2011_01_14_50	Reprise	2011_01_14_48	Analyse dimensionnelle de tau, dipôle RC	Enseignant	D
8.	2011_01_14_55	Appel	Radioactivité	Modèle exponentiel pour modéliser l'évolution de u(t)	Enseignant	D
9.	2011_01_14_56	Appel	2011_01_14_36 2011_01_14_38	Influence des paramètres R et C sur tau	Enseignant	D (courbes)
			2011_01_11_52			I
10.	2011_01_14_57	Annonce	-----	Voir l'effet de $U_0$ sur la valeur de tau dans le cas du dipôle RC	Enseignant	D (TP)
		Appel	2011_01_11_52	Influence de paramètre $U_0$ sur tau dans le cas du dipôle RC		
11.	2011_01_14_58	Appel	2011_01_10_08 2011_01_10_09 2011_01_10_19	Un générateur de courant impose « i » a ses bornes ; un générateur de tension impose « u » à ses bornes.	Elève	D (activité 2)
		Appel	2011_01_14_57	Influence de paramètre $U_0$ sur tau dans le cas du dipôle RC		
12.	2011_01_14_77	Appel	2011_01_14_55	Expression de modélisation utilisée par Regressi	Enseignant	Difficile à préciser
13.	2011_01_17_07	Appel	Question élève (privée)	Tau est un temps mais non pas le temps qui passe	Elève	D (question élève)
14.	2011_01_17_14	Annonce	2011_01_17_77	Lien entre équation différentielle et la détermination de tau avec Regressi	Enseignant	I
15.	2011_01_17_16	Annonce	2011_01_18_08	Regressi trace la tangente, dipôle RC	Enseignant	I
16.	2011_01_17_17	Appel	Discussion privée avec un	Poser $t=\tau$ dans l'équation différentielle permet de déduire que :	Elève	D (Méthode proposée par

			élève	tau=0, 63U <sub>0</sub> lors de la charge ; tau=0,37 U <sub>0</sub> lors de la décharge		l'élève pour trouver tau,)
		Appel	Cinétique	Méthode graphique de tangente n'est pas précise comme le 0,63U <sub>0</sub> pour déterminer la valeur de tau		D (cinétique)
17.	2011_01_17_18	Appel	Cinétique	T <sub>1/2</sub> = tau ln2	Enseignant	D (cinétique)
		Appel	Radioactivité			D (radioactivité)
18.	2011_01_17_24	Appel	2011_01_14_36	Allure d'une courbe u(t)	Enseignant	D (vendredi)
		Appel	_____	TP non filmé		
19.	2011_01_17_51	Appel	2011_01_14_54 2011_01_14_55	Calcul de la valeur de tau en se servant de R=2,2kΩ et C=1 μF	Enseignant	D
20.	2011_01_18_08	Appel	2011_01_17_16 2011_01_17_17	Techniques graphiques pour déterminer tau pour une courbe u(t)	Enseignant	I
		Appel	5 <sup>ème</sup> séance	Regressi		
21.	2011_01_24_54	Appel	2011_01_14_36 2011_01_14_38 2011_01_14_56	Influence des paramètres R et C sur tau dans le cas du dipôle RC ; Effet des paramètres R, L et U <sub>0</sub> sur tau dans le cas du dipôle RL.	Enseignant	D (chapitre1)
		Appel	2011_01_24_47 2011_01_24_48 2011_01_24_51			
22.	2011_01_24_66	Annonce	2011_01_28_57	Calcul de « L » à partir de la valeur de tau affiché sur Regressi	Enseignant	I
23.	2011_01_24_73	Appel	2011_01_18_08	Techniques graphiques pour déterminer la valeur de tau	Enseignant	
24.	2011_01_24_75	Appel	Question élève dans la même séance	Les correspondances graphiques des trois relations algébriques dans l'expression du modèle dans Regressi	élève	D (question élève)
25.	2011_01_25_30	Appel	2011_01_24_54	Effet des variables R, C et U sur tau dans le cas sue dipôle RC ; effet des paramètres R, L et U sur tau dans le	Enseignant	D

				cas du dipôle RL		
26.	2011_01_25_34	Appel	S7 « On a déjà vu que $i$ évolue en exponentiel croissant »	La courbe de $i(t)$ évolue en exponentielle croissant	Enseignant	I
		Avance		Equation différentielle		I
		Annonce	2011_01_28_66 2011_01_28_68	Equation différentielle de « $i$ » dans le cas du dipôle RL		
27.	2011_01_28_43	Rappel	2011_01_24_75	Méthode de fonctionnement de Regressi : Regressi utilise les fonctions pour calculer tau	Enseignant	I
28.	2011_01_28_59	Appel	2011_01_17_17	La valeur de tau lors de la charge est la même valeur lors de la décharge pour un même dipôle	Enseignant	I
29.	2011_01_28_64	Annonce	2011_01_28_71 2011_01_28_73	Analyse dimensionnelle de [L/R]	Enseignant	D
30.	2011_01_28_68	Reprise	2011_01_28_66	Loi d'additivité des tensions pour un circuit RL	Enseignant	D
31.	2011_01_28_71	Appel	2011_01_28_64	Analyse dimensionnelle de [L/R]	Enseignant	
32.	2011_01_28_73	Reprise	2011_01_28_71	Analyse dimensionnelle de [L/R]	Enseignant	D
33.	2011_01_28_87	Appel	2011_01_17_16	Techniques graphiques pour déterminer la valeur de tau pour une courbe $i(t)$	Enseignant	I
		Appel	2011_01_17_17			
		Appel	2011_01_25_34			I
34.	2011_02_04_09	Appel	2011_01_28_71 2011_01_28_73	Analyse dimensionnelle de [L/R]	Enseignant	D (un truc qu'on a déjà fait)
35.	2011_01_04_12	Reprise	2011_02_04_09	Analyse dimensionnelle de [L/R]	Enseignant	D
36.	2011_01_04_15	Reprise	2011_02_04_12	Analyse dimensionnelle de [L/R]	Enseignant	D

Indication sur le remplissage du tableau :

Un épisode est codé par plusieurs mots clés pour un des quatre raisons suivantes : (1) un même épisode envoie à différentes séquences ; (2) épisode faisant appel à des contenus développés dans des épisodes séparés ; (3) épisode où l'enseignant appelle des discussions avec des binômes et ajoute des choses en publique ; (4) épisode de tissage avec différents moments dans la séquence

