

# Devoir Surveillé n°2

## Consigne de rédaction :

- chaque réponse doit être précédée du raisonnement qui la justifie.
- les résultats devront être encadrés à la règle.
- les applications numériques devront être effectuées avec soin : en particulier, il sera judicieux de conserver à la calculatrice tous les calculs intermédiaires pour effectuer les calculs ultérieurs.
- les applications numériques sans unités seront considérées fausses.

## Chimie : Atomistique (1h)

### I Soufre et composés oxygénés du soufre [cf. Mine-Ponts 08 PSI]

- **Données :** Numéros atomiques : pour l'oxygène  $Z = 8$  et pour le soufre  $Z = 16$

**I.1)** Indiquer la configuration électronique de l'atome d'oxygène ainsi que de l'atome de soufre dans leur état fondamental.

**I.2)** Positionner ces deux éléments (ligne et colonne) dans la classification périodique des éléments à 18 colonnes. On justifiera soigneusement la réponse.

- **Données :** Énergie de première ionisation :

- de l'oxygène :  $\varepsilon_{i,1}(O) = 1,31 \text{ MJ.mol}^{-1}$

- du soufre :  $\varepsilon_{i,1}(S) = 1,00 \text{ MJ.mol}^{-1}$

**I.3)** Écrire l'équation de la réaction définissant la première ionisation d'un élément.

**I.4)** Justifier la différence de première ionisation entre l'oxygène et le soufre.

- On considère les composés suivants : dioxyde de soufre  $\text{SO}_2$ , trioxyde de soufre  $\text{SO}_3$ , dichlorure de thionyle  $\text{SOCl}_2$  et ion sulfate  $\text{SO}_4^{2-}$ .

Dans chacune de ces espèces l'atome de soufre est l'atome central et aucune de ces molécules ne comporte de liaison  $O - O$ .

**I.5)** Donner la représentation de Lewis (en cas d'existence de plusieurs mésomères, on ne précisera que le plus stable) pour chacun de ces quatre composés. On indiquera les charges formelles, les doublets liants et les doublets non liants éventuels.

**I.6)** Pour chaque composé, donner la formule VSEPR ( $\text{AX}_n\text{E}_m$ ). En utilisant ce modèle VSEPR, prévoir les géométries pour chaque composé. Dessiner chaque composé.

**I.7)** Pour  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ , indiquer la valeur de l'angle  $O - S - O$  parmi les valeurs suivantes :  $90^\circ$  ;  $107^\circ$  ;  $109,5^\circ$  ;  $119,5^\circ$  ;  $120^\circ$  ;  $125^\circ$ .

### II Arsenic et Arsine [d'après Mine-Ponts 2009 PC]

- L'arsenic, de numéro atomique 33, n'a qu'un seul isotope stable, de nombre de masse 75.

**II.1)** Donner le nombre de protons et le nombre de neutrons de l'isotope stable.

**II.2)** Quelle est la structure électronique de l'atome d'arsenic à l'état fondamental ?

**II.3)** À quelle ligne et quelle colonne du tableau périodique appartient cet élément ?

**II.4)** Justifier les deux principaux nombres d'oxydation de l'arsenic : +III et +V.

- L'arsenic récupéré dans les différentes métallurgies peut être transformé en arsine  $\text{AsH}_3$  de haute pureté (transformation effectuée notamment par l'entreprise française l'Air Liquide ou

les entreprises américaines Air Products et Praxair), utilisé ensuite en microélectronique pour fabriquer l'arséniure de gallium (AsGa), un semi-conducteur, et pour doper le silicium.

**II.5)** Donner la structure de Lewis et la géométrie attendue pour la molécule d'arsine  $\text{AsH}_3$  en application de la théorie VSEPR.

**II.6)** L'angle mesuré entre deux liaisons  $\text{As} - \text{H}$  dans la molécule d'arsine est de  $92,1^\circ$ . Justifier ce résultat expérimental.

• Si l'on s'intéresse aux températures d'ébullition sous une pression de 1,013 bar des hydrures des éléments de la famille de l'arsenic, on observe l'évolution suivante ( $X$  et  $Y$  désignent les éléments placés au-dessus de l'arsenic dans le tableau périodique,  $X$  étant lui-même placé au-dessus de  $Y$ ,  $Z$  est l'élément juste en-dessous de l'arsenic) :

Hydrures	$\text{XH}_3$	$\text{YH}_3$	$\text{AsH}_3$	$\text{ZH}_3$
$T_{\text{ébullition}}$	$-33^\circ$	$-88^\circ\text{C}$	$-62,5^\circ\text{C}$	$-17^\circ\text{C}$

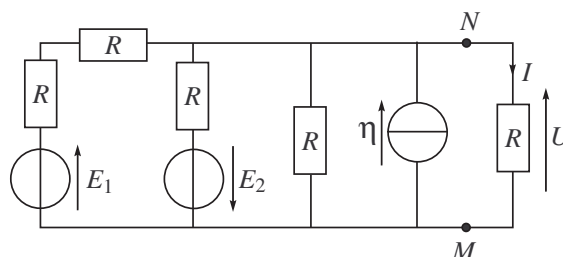
**II.7)** Déterminer les éléments  $X$  et  $Y$ .

**II.8)** Les atomes d'arsenic et d'hydrogène ont des électronégativités voisines. Comparer la polarité des molécules  $\text{XH}_3$  et  $\text{AsH}_3$ . Préciser dans les deux cas sur un schéma clair l'orientation du moment dipolaire (lorsqu'il existe!). Comparer la solubilité de ces deux composés dans l'eau.

## Physique : Électrocinétique et optique (2h15')

### III Circuit linéaire en régime continu

Dans le montage ci-contre, on cherche à exprimer, par différentes méthodes, l'intensité  $i$  du courant traversant dans la résistance  $R$  entre  $M$  et  $N$  en fonction des  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $\eta$  et  $R$ .



**III.1) Première méthode : Théorème de superposition :**

Dans cette question, on utilisera quand cela est possible des ponts diviseurs de tension ou de courant.

**1.a)** Lorsque  $E_2$  et  $\eta$  sont éteints : représenter le nouveau montage et déterminer l'expression littérale  $I_1$  de  $I$ .

**1.b)** Lorsque  $E_1$  et  $\eta$  sont éteints : représenter le nouveau montage et déterminer l'expression littérale  $I_2$  de  $I$ .

**1.c)** Lorsque  $E_1$  et  $E_2$  sont éteints : représenter le nouveau montage et déterminer l'expression littérale  $I_3$  de  $I$ .

**1.d)** Donner finalement l'expression littérale de  $i$ .

**III.2) Deuxième méthode : Théorème de Millman :**

Exprimer le potentiel  $V_N$  (en prenant la masse en  $M$ ), et en déduire l'expression littérale de  $I$ .

**III.3) Troisième méthode : Transformations Thévenin/Norton :**

**a)** Procéder par transformations successives « générateur de Thévenin  $\leftrightarrow$  générateur de Norton », et aboutir à un montage simplifié faisant apparaître un générateur de Norton dont on précisera les expressions littérales du courant électromoteur équivalent  $\eta_{\text{eq}}$  et de la résistance interne équivalente  $R_{\text{eq}}$ .

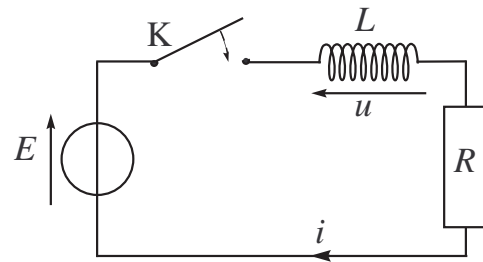
**b)** Déduire de ce schéma équivalent l'expression littérale de l'intensité  $I$ .

**III.4) A.N. :** Calculer numériquement  $I$  avec  $E_1 = 20 \text{ V}$ ,  $E_2 = 5 \text{ V}$ ,  $\eta = 15 \text{ mA}$  et  $R = 2 \text{ k}\Omega$ .

## IV Circuit RL série

On considère le circuit ci-contre.

À  $t = 0$  on ferme l'interrupteur.



**IV.1)** Déterminer  $i(0^-)$  valeur de l'intensité  $i$  juste avant la fermeture.

**IV.2)** Déterminer  $u(0^+)$  valeur de la tension  $u$  et  $i(0^+)$  valeur de l'intensité  $i$  juste après la fermeture.

**IV.3)** Déterminer  $u(\infty)$  valeur de la tension  $u$  et  $i(\infty)$  valeur de l'intensité  $i$  au bout d'un temps très long.

**IV.4)** On pose  $\tau = \frac{L}{R}$ . Quelle est l'unité de  $\tau$  dans le système international? Démontrer le résultat. Quel est le nom donné à cette constante?

**IV.5)** Établir et résoudre l'équation différentielle vérifiée par  $i(t)$ .

**IV.6)** Trouver à partir de cette expression la valeur de  $i(t)$  pour un temps très long. Vérifier que cette valeur correspond au comportement du condensateur prévu dans la question 3).

**IV.7)** Tracer l'allure de la courbe représentative de l'intensité  $i(t)$  en précisant son asymptote. Calculer la valeur de la pente de la courbe à  $t = 0^+$ . Tracer la tangente à l'origine et calculer les coordonnées du point d'intersection de cette tangente avec l'asymptote.

**IV.8)** Déterminer, en fonction de  $\tau$ , l'expression du temps  $t_1$ , au bout duquel 99% de la charge a été effectuée. On donne :  $\ln(10) \simeq 2,3$ .

**IV.9)** Déterminer l'expression de  $u(t)$ .

**IV.10)** Établir pour ce circuit le bilan de puissance à l'instant  $t$ .

**IV.11)** Lorsque le régime permanent est établi, exprimer :

- l'énergie magnétique emmagasinée dans la bobine en fonction de  $L$ ,  $E$  et  $R$ .
- la puissance dissipée par effet Joule en fonction de  $E$  et  $R$ .

**IV.12)** Lorsque le régime permanent est établi, que devient l'énergie électrique fournie au circuit par le générateur?

## V Méthode de Badal [CCP 2008 MP]

La méthode de Badal se déroule en deux étapes :

- 1<sup>ère</sup> étape : une lentille convergente ( $\mathcal{L}_1$ ) donne d'un objet ponctuel  $A$  situé au foyer objet  $F_1$  de cette lentille, une image rejetée à l'infini. Une seconde lentille convergente ( $\mathcal{L}_2$ ) de distance focale connue  $f'_2$  est disposée à la suite de ( $\mathcal{L}_1$ ) à une distance supérieure à  $f'_2$ . L'image finale ponctuelle  $A'$  se trouve sur un écran ( $\mathcal{E}$ ) situé au foyer image  $F'_2$  de ( $\mathcal{L}_2$ ).
- 2<sup>ème</sup> étape : la lentille divergente ( $\mathcal{L}$ ), de distance focale  $f'$  inconnue, est positionnée dans le plan focal objet de ( $\mathcal{L}_2$ ). Pour obtenir la nouvelle image nette  $A''$ , il faut éloigner ( $\mathcal{E}$ ), de ( $\mathcal{L}_2$ ), d'une distance  $D$ .

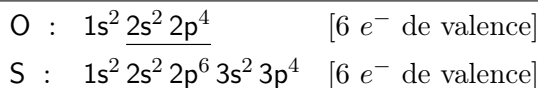
**V.1)** Faites deux constructions annotées, l'un en dessous de l'autre, à la même échelle, pour illustrer les deux étapes. On prendra soin de tracer le parcours complet de deux rayons issus de  $A$  et arrivant en  $A'$  (premier schéma) ou  $A''$  (second schéma).

**V.2)** En appliquant la relation de conjugaison de Newton à la lentille ( $\mathcal{L}_2$ ), déterminer la relation donnant l'expression de la distance focale  $f'$  en fonction des distances  $f'_2$  et  $D$ .

**V.3)** Pour les distances  $f'_2 = 12 \text{ cm}$  et  $D = 6 \text{ cm}$ , calculer  $f'$

# I Soufre et composés oxygénés du soufre [cf. Mine-Ponts 08 PSI]

I.1) Configurations électroniques :

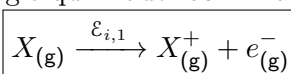


L'oxygène comme le soufre possède six électrons de valence. La valence de l'oxygène et du soufre est par conséquent de 6.

I.2) La dernière couche en cours de remplissage correspond à la période  $n$ . Lorsque la dernière sous-couche partiellement ou totalement remplis est la sous-couche  $np$ , l'élément fait partie du bloc  $p$ . Pour connaître la colonne que l'élément occupe, il faut ajouter 10 au nombre d'électrons de valence (le bloc  $d$  comportant 10 cases). On obtient donc :

élément	période	colonne
Oxygène	2	16
Soufre	3	16

I.3) L'énergie de première ionisation est l'énergie qu'il faut **fournir** à un atome (considéré dans l'état gazeux) **pour lui arracher un électron** :



I.4) Au sein d'une même famille (ici celle des chalcogènes, colonne 16) l'énergie de première ionisation **diminue** si le numéro atomique **augmente**, car **un électron de valence est en moyenne situé de plus en plus loin du noyau** (couche  $n = 2$  pour  $O$  et  $n = 3$  pour  $S$ ) et donc plus facile à arracher.

## I.5) Représentations de Lewis :

- Notations :  $N_V$  est le nombre d'électrons de valence du composé et  $P_V$  est le nombre de doublets correspondants, qu'ils soient liants ou non-liants.

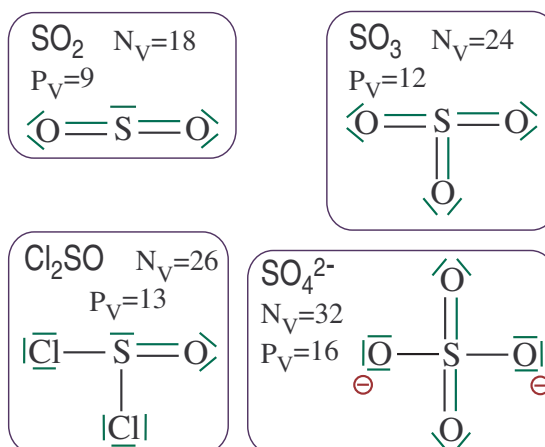
- L'oxygène et le chlore, liés au soufre, doivent respecter la règle de l'octet. Par ailleurs, comme le chlore est terminal, il doit posséder trois doublets non liants.

- Le soufre peut ne pas respecter cette règle, car il appartient à la troisième période. Il est alors qualifié d' **hypervalent**.

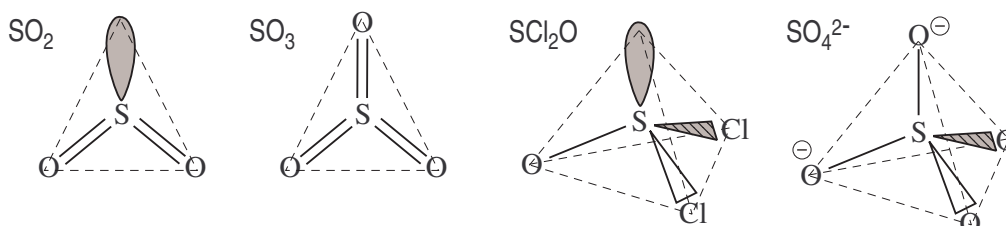
- On obtient les structures ci-contre.

**Rq** : pour l'anion, les charges sont portées par les atomes d'oxygène car ce dernier est plus électro-négatif que le soufre.

I.6/7) D'après les formules de Lewis précédentes :



Composé	VSEPR	Figure de coordination	Géométrie	Angle
$SO_2$	$AX_2E_1$	triangle	molécule coudée	$119,5^\circ$
$SO_3$	$AX_3E_0$	triangle équilatéral	molécule trigonale plane	$120^\circ$
$SOCl_2$	$AX_3E_1$	tétraèdre déformé	pyramide à base triangle	$96,1^\circ$ (exp.)
$SO_4^{2-}$	$AX_4E_0$	tétraèdre régulier	molec. tétraédrique	$109,5^\circ$



• Rq : Rapport du jury 2008 :

**Q1** : Lorsque l'on demande de « proposer une structure de Lewis », il est inutile d'expliquer ici le principe de la méthode VSEPR. Nous rappelons que cette méthode donne la géométrie autour d'un atome central : ce n'est donc pas la molécule qui est  $AX_2E_1$  mais l'atome central (ici l'atome d'azote).

De nombreux candidats se sont crus obligés de préciser que « la molécule est plane », ce qui est évident pour une molécule triatomique!!

## II Arsenic et Arsine [d'après Mines-Ponts 2009 PC]

• Rq : Rapport du jury 2009 :

**Q4** : La question n'était pas « comment forme-t-on les degrés d'oxydation +III et +V? » mais « pourquoi ces degrés d'oxydation possèdent-ils une stabilité particulière? ».

On rappelle que pour ces degrés d'oxydation, on a des sous-couches électroniques de valence pleines ou demi-remplies, ce qui leur confèrent une certaine stabilité.

Un nombre inquiétant de candidats croient que pour passer du degré d'oxydation 0 au degré d'oxydation +III, il faut ajouter 3 électrons (confondant ainsi les degré d'oxydation +III et -III).

**Q5** : Ne pas confondre la géométrie des doublets électronique et la géométrie de la molécule (ce qui était demandé pour cette question). Autant donner systématiquement les deux, c'est tellement rapide... Dans la molécule d'arsine, l'atome d'arsenic est de type  $AX_3E$ , d'où une géométrie tétraédrique pour les doublets et une molécule pyramidale à base triangulaire.

**Q6** : Plus de 50% des candidats ne précisent même pas à quelle valeur théorique (ici  $109,5^\circ$ ) on doit comparer le résultat expérimental  $92,1^\circ$ !!

II.1)  $Z(\text{As}) = 33$ ,  $A(\text{As}) = 75$  et  $N = A - Z = 42$  donc : **33 protons et 42 neutrons**.

II.2)  $\text{As} : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} \underline{4s^2 4p^3}$  (5 électrons de valence, un doublet non liant et 3 électrons célibataires).

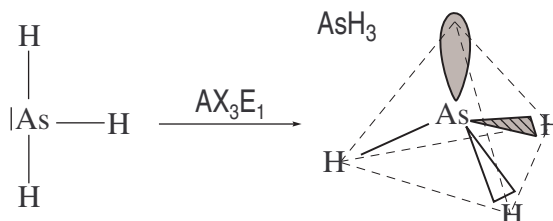
II.3) D'après la configuration électronique (cf. II) : **As appartient à la 4<sup>e</sup> ligne et à la 5<sup>e</sup> colonne**.

II.4)  $\text{As}^{+III}$  s'obtient par **perte des 3 électrons** de la sous-couche 4p.  $\text{As}^{+V}$  s'obtient par **perte des 5 électrons** de la couche de valence (orbitales des sous-couches 4s et 4p).

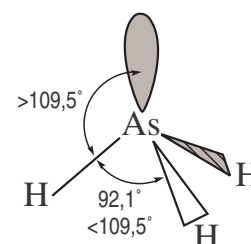
II.5) Nombre d'électrons de valence et nombre de doublets électroniques liants ou non-liants pour  $\text{AsH}_3$  :

$$N_V = 5 + 3 \times 1 = 8 \quad \text{et} \quad P_V = \frac{8}{2} = 4$$

L'atome d'arsenic est de type  $AX_3E$ , d'où une géométrie tétraédrique pour les doublets et une **molécule pyramidale à base triangulaire**



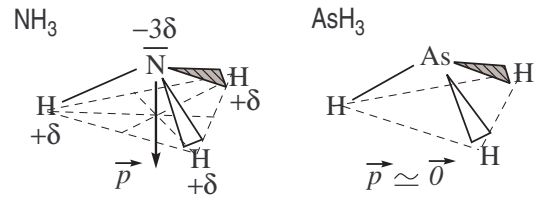
II.6) Dans un tétraèdre régulier, l'angle entre deux liaisons *identiques* est  $109,5^\circ$ . Mais comme **la répulsion entre deux liaisons liantes est plus faible que la répulsion entre une liaison liante et une liaison non-liante** (doublet libre), le doublet non-liant repousse les doublets libres de manière à déformer le tétraèdre et à diminuer l'angle entre deux liaisons  $\text{As} - \text{H}$ .



II.7) X est l'azote (N) et Y est le phosphore (P) :  $\boxed{XH_3 = NH_3}$  et  $\boxed{YH_3 = PH_3}$

II.8) • Puisque les atomes d'arsenic et d'hydrogène sont des électronégativités voisines, la molécule d'arsine  $AsH_3$  est apolaire.

• L'électronégativité croissant lorsqu'on va de l'arsenic vers l'azote, N est plus électronégatif que l'hydrogène et la molécule d'ammoniac  $NH_3$  est polaire.



### III Circuit linéaire en régime continu

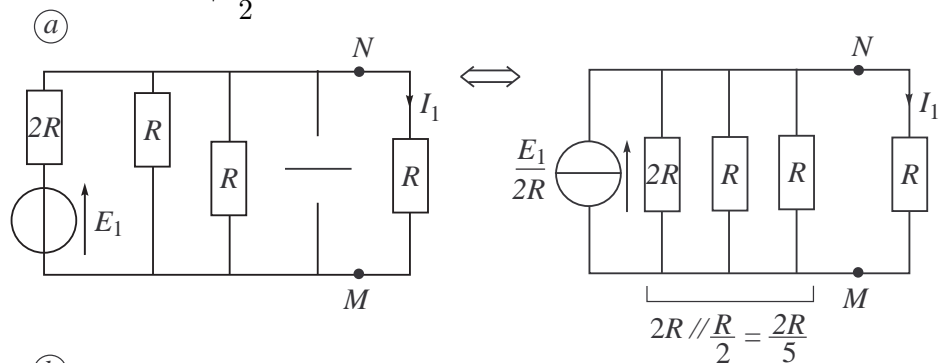
III.1) On pose :  $R_{eq} = 2R // \frac{R}{2} = \frac{2R \cdot \frac{R}{2}}{2R + \frac{R}{2}} = \frac{2R}{5}$

III.1.a)

Diviseur de courant :

$$I_1 = \frac{R_{eq}}{R_{eq} + R} \cdot \frac{E_1}{2R}$$

$$\boxed{I_1 = \frac{E_1}{7R}}$$

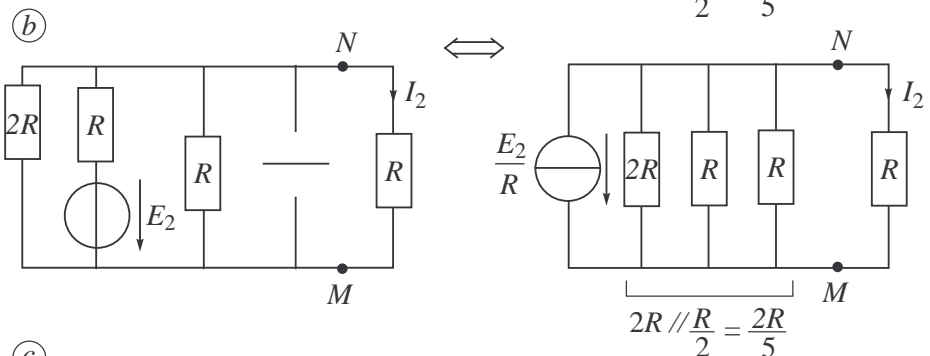


III.1.b)

Diviseur de courant :

$$I_2 = -\frac{R_{eq}}{R_{eq} + R} \cdot \frac{E_2}{R}$$

$$\boxed{I_2 = -\frac{2E_2}{7R}}$$

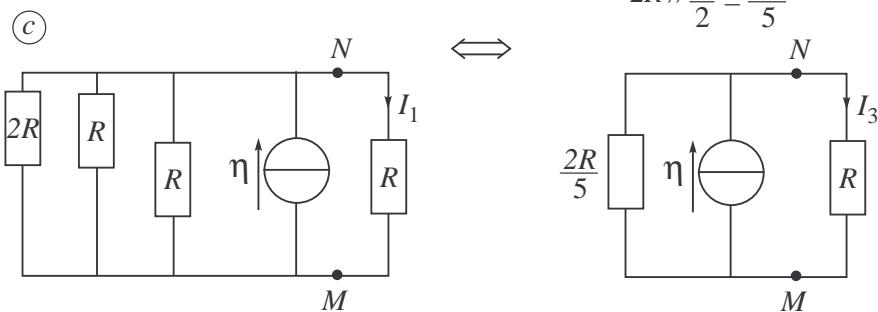


III.1.c)

Diviseur de courant :

$$I_3 = \frac{R_{eq}}{R_{eq} + R} \cdot \eta$$

$$\boxed{I_3 = \frac{2}{7}\eta}$$



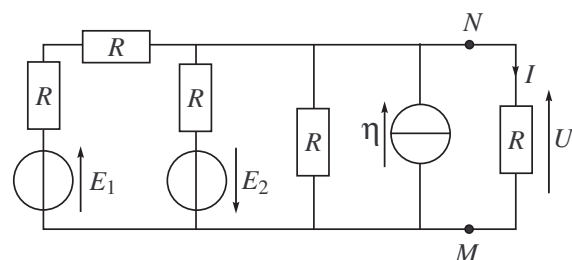
III.1.d) Théorème de superposition :  $I = I_1 + I_2 + I_3$  soit :  $\boxed{I = \frac{E_1 - 2E_2}{7R} + \frac{2\eta}{7}}$

III.2) On choisit M comme masse.

→ «  $V_M = 0$  ».

Le théorème de Millman appliqué au nœud N s'écrit :

$$V_N = \frac{\frac{V_M + E_1}{2R} + \frac{V_M - E_2}{R} + \frac{V_M}{R} + \frac{V_M}{R} + \eta}{\frac{1}{2R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R}}$$



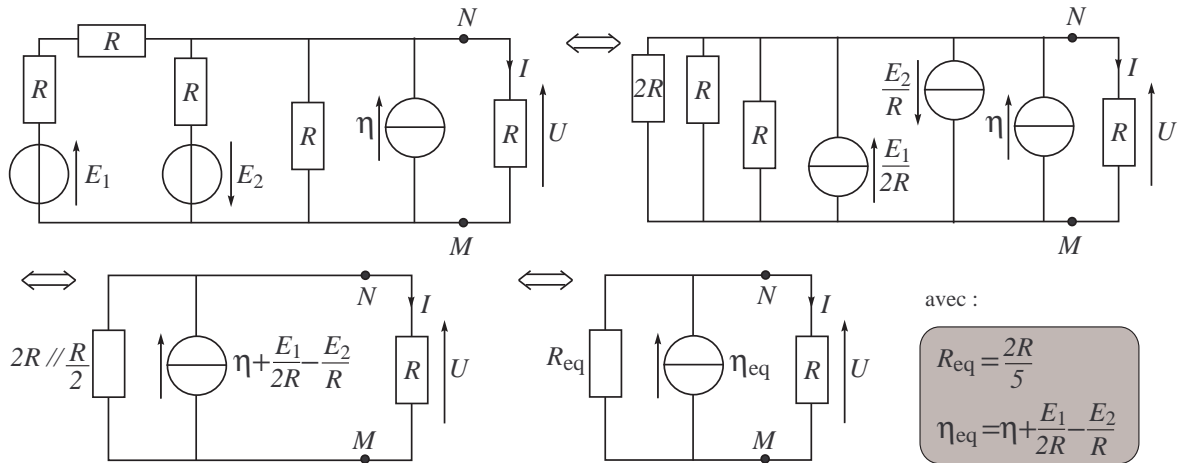
On en déduit  $u = V_N - V_M = \frac{E_1 - 2E_2 + 2R\eta}{7} = R.I$ , soit :  $I = \frac{E_1 - 2E_2}{7R} + \frac{2\eta}{7}$

III.3.a) Cf. ci-après.

III.3.b) Un diviseur de courant sur le schéma final permet d'écrire :

$$I = \frac{R_{eq}}{R_e + R} \cdot \eta_{eq} = \frac{\frac{2R}{5}}{\frac{2R}{5} + R} \cdot \left( \eta + \frac{E_1}{2R} - \frac{E_2}{R} \right) = \frac{2}{7} \cdot \left( \eta + \frac{E_1 - 2E_2}{2R} \right)$$

→ d'où :  $I = \frac{E_1 - 2E_2}{7R} + \frac{2\eta}{7}$



III.4) A.N. :  $I = 5 \text{ mA}$

## IV Circuit RL série

IV.1) L'interrupteur étant ouvert à  $t = 0^-$  :  $i(0^-) = 0$

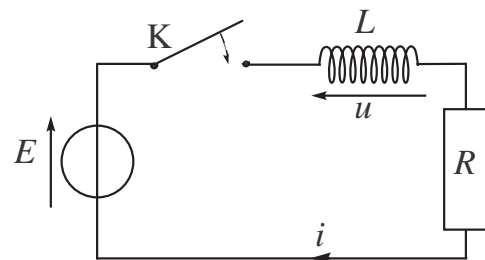
IV.2) L'intensité traversant une bobine étant une

fonction continue du temps :  $i(0^-) = i(0^+) = 0$

La loi des mailles à  $t = 0^+$  :

$$E - R.i(0^+) - u(0^+) = 0$$

donne :  $u(0^+) = E$



IV.3) En régime permanent continu, la bobine se comporte comme un fil, donc :  $u(\infty) = 0$

La loi des mailles donne :  $E - R.i(\infty) - u(\infty) = 0$ , soit :  $i(\infty) = I_0 = \frac{E}{R}$

IV.4) Puisque  $\tau = \frac{L}{R}$  :  $[\tau] = \frac{[L]}{[R]} = \frac{[V]}{[V]} \times \frac{[dt]}{[dt]} = [dt] = T$

$\tau$  est homogène à un temps :  $\tau$  s'exprime en secondes dans le système S.I.

On l'appelle **constante de temps** ou **durée caractéristique** du circuit RL.

IV.5) La loi des maille conduit à  $\frac{di}{dt} + \frac{i}{\tau} = \frac{E}{L}$  avec  $\tau = \frac{L}{R}$

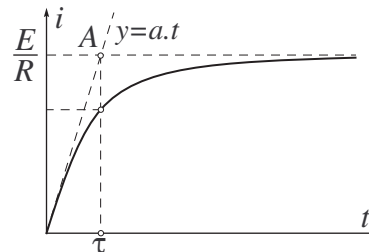
Solution :  $i = i_p + i_g = I_0 + A \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$   
 Comme  $i(0^+) = 0$  on a :  $I_0 + A = 0$ , soit :  $A = -I_0$  } → Cl :  $i(t) = I_0 \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)\right)$

IV.6) Lorsque  $t \rightarrow +\infty$ , la relation précédente permet de vérifier que :  $i(\infty) = \frac{E}{R}$

IV.7) Équation de la tangente à l'origine :  $y = a.t$  avec  $a = \left(\frac{di}{dt}\right)(0) = \frac{E}{L}$ .

$$y(t) = I_0 \Leftrightarrow \frac{E}{L}.t = \frac{E}{R} \Leftrightarrow t = \frac{L}{R} = \tau$$

La tangente coupe l'asymptote en  $A(\tau, I_0)$



IV.8)  $i(t_1) = \frac{99}{100}.I_0 \Leftrightarrow \cancel{I_0}.(1 - \exp(-\frac{t_1}{\tau})) = \frac{99}{100}.\cancel{I_0} \Leftrightarrow \exp(-\frac{t_1}{\tau}) = \frac{1}{100}$

Soit :  $t_1 = 2\tau. \ln(10) \simeq 4,6.\tau$

IV.9)  $u(t) = L \frac{di}{dt} = E. \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$

IV.10) La loi des mailles multipliée par  $i$  donne :

$$E.i = Ri^2 + \frac{d\left(\frac{1}{2}Li^2\right)}{dt} \Leftrightarrow \mathcal{P}_g = \mathcal{P}_J + \frac{d\mathcal{E}_L}{dt} \quad (*)$$

IV.11) En régime permanent :  $i = i(\infty) = I_0 = \frac{E}{R}$  :

$$\mathcal{E}_L = \frac{1}{2}LI_0^2 = \frac{1}{2}.L.\frac{E^2}{R^2} \quad \text{et} \quad \mathcal{P}_g = \mathcal{P}_J = R.I_0^2 = \frac{E^2}{R}$$

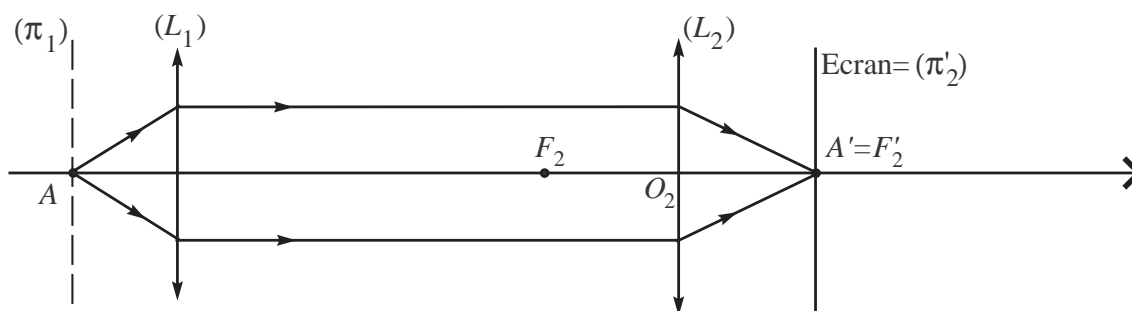
IV.12) Puisque  $\mathcal{E}_L = \text{Cte}$  en régime permanent continu, le bilan de puissance (\*) conduit à :

$$\mathcal{P}_g = \mathcal{P}_J = \frac{E^2}{R}$$

CI : L'énergie électrique fournie par le circuit est entièrement dissipée par effet Joule dans le conducteur ohmique.

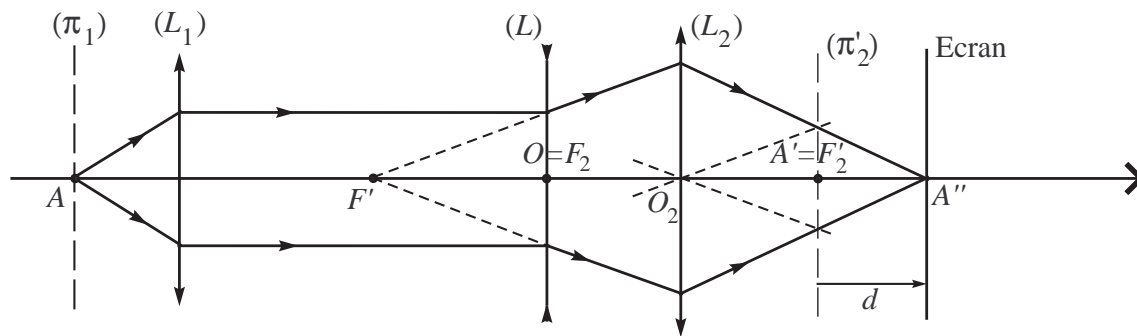
## V Méthode de Badal [CCP 2008 MP]

V.1) • 1<sup>ère</sup> étape :





- 2<sup>de</sup> étape :



- 2) Puisque  $A' = F'_2$ , que le centre optique de la lentille divergente inconnue est placé au foyer image de  $(\mathcal{L}_2)$  ( $O = F_2$ ) et que :

$$F' \xrightarrow{\mathcal{L}_2} A''$$

la relation de Newton appliquée à  $(\mathcal{L}_2)$  donne :

$$\overline{F'_2 A''} \cdot \overline{F_2 F'} = -f_2'^2 \Leftrightarrow \overline{A' A''} \cdot \overline{O F'} = -f_2'^2 \Leftrightarrow \boxed{f' = -\frac{f_2'^2}{D}}$$

- 3) A.N. :  $\boxed{f' = -24 \text{ cm}}$