

---

# GUIDE DE L'ÉTUDIANT

S1- APP3 GEGI : *Automne 2022*

S1- APP5 GRO : *Automne 2022*

---

Département de génie électrique et de génie informatique

Faculté de génie

Université de Sherbrooke

Note : En vue d'alléger le texte, le masculin est utilisé pour désigner les femmes et les hommes.

Document : Guide\_Etudiant\_2022\_APP3GEGI\_APP5GRO\_S1.docx

1<sup>re</sup> version octobre 2017

Rédigé par Cetin Aktik, Dominique Drouin, Jan Dubowski et Charles Richard

Mis à jour en 2018 par Alexandre Tessier, Jean-Samuel Lauzon et Cetin Aktik

Mis à jour en 2019 par Jean-Samuel Lauzon, Jean-Philippe Gouin, Charles Richard et Jan Dubowski

Mis à jour en 2020 par Charles Richard, Hassan Maher, Jan Dubowski et Karina Lebel

Mis à jour en 2021 par Charles Richard, Hassan Maher et Jan Dubowski

Mis à jour en 2022 par Jan Dubowski, Jean-Philippe Gouin et Hassan Maher

Copyright © 2022 Département de génie électrique et de génie informatique, Université de Sherbrooke.

# TABLE DES MATIÈRES

<b>1</b>	<b>ACTIVITÉ PÉDAGOGIQUE ET COMPÉTENCES.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Synthèse de l'évaluation .....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Qualités de l'ingénieur .....</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Énoncé de la problématique.....</b>	<b>3</b>
<b>5</b>	<b>Connaissances nouvelles .....</b>	<b>6</b>
5.1	Pour le procédural 1 et le laboratoire 1 .....	6
5.2	Pour le procédural 2 et la problématique .....	6
<b>6</b>	<b>Guide de lecture .....</b>	<b>7</b>
6.1	Références essentielles .....	7
6.2	Pour le procédural 1 et le laboratoire 1 : .....	7
6.3	Pour le procédural 2 et la problématique .....	8
<b>7</b>	<b>Logiciels et matériel .....</b>	<b>9</b>
<b>8</b>	<b>Santé et sécurité .....</b>	<b>9</b>
8.1	Dispositions générales.....	9
8.2	Dispositions particulières .....	9
<b>9</b>	<b>Sommaire des activités .....</b>	<b>10</b>
<b>10</b>	<b>Production à remettre .....</b>	<b>11</b>
10.1	Validation.....	11
10.2	Rapport.....	12
10.3	Contenu du rapport.....	12
<b>11</b>	<b>Évaluations.....</b>	<b>13</b>
11.1	Production à remettre.....	13
11.2	Évaluation sommative de l'unité .....	14
11.3	Évaluation sommative finale .....	14
<b>12</b>	<b>Politiques et règlements .....</b>	<b>14</b>
<b>13</b>	<b>Intégrité, plagiat et autres délits .....</b>	<b>14</b>
<b>14</b>	<b>Formation à la pratique procédurale 1 .....</b>	<b>15</b>
14.1	Exercices préparatoires .....	15
14.2	Exercices du procédural.....	17
<b>15</b>	<b>Formation à la pratique en laboratoire.....</b>	<b>20</b>
<b>16</b>	<b>Formation à la pratique procédurale 2 .....</b>	<b>21</b>
16.1	Exercices préparatoires .....	21
16.2	Exercices du procédural.....	23
<b>17</b>	<b>Solution des exercices préparatoires .....</b>	<b>27</b>
17.1	Procédural 1.....	27
17.2	Procédural 2 :.....	32
<b>18</b>	<b>Liste des exercices recommandés .....</b>	<b>34</b>

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Circuit de la problématique .....	5
Figure 2 : Circuits de l'exercice 1, pré-procédural 1 .....	15
Figure 3 : Circuit de l'exercice 2, pré-procédural 1 .....	15
Figure 4 : Circuits et courbes i-v de l'exercice 3, pré-procédural 1 .....	16
Figure 5 : Circuit exercice 1, procédural 1 .....	17
Figure 6 : Circuit exercice 2, procédural 1 .....	17
Figure 7 : Circuit exercice 3, procédural 1 .....	18
Figure 8 : Graphiques exercice 3, procédural 1 .....	19
Figure 9 : Circuit et courbe i-v de l'exercice 1, pré-procédural 2 .....	21
Figure 10 : Circuit et courbe i-v de l'exercice 2, procédural 2 .....	23
Figure 11 : Circuit de l'exercice 2a, procédural 2 .....	24
Figure 12 : Circuit de l'exercice 2b, procédural 2 .....	24
Figure 13 : Circuit de l'exercice 3, procédural 2 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 14 : Circuit de l'exercice 4, procédural 2 .....	25
Figure 15 : Courbes i-v de l'exercice 4, procédural 2 .....	25

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Synthèse de l'évaluation de l'unité.....	2
Tableau 2 : Tableau des qualités de l'ingénieur .....	2
Tableau 3 : Grille d'évaluation de la compétence pour la validation .....	13
Tableau 4 : Grille d'évaluation de la compétence pour le rapport .....	13

# 1 ACTIVITÉ PÉDAGOGIQUE ET COMPÉTENCES

## **GEN111 : La communication et le travail en équipe**

1. Communiquer en français, oralement et par des écrits de diverses formes, dans le respect des exigences formulées et en utilisant les outils appropriés.

Description officielle : <https://www.usherbrooke.ca/admission/fiches-cours/gen111/>

## **GEN135 : Circuits électriques I**

1. Utiliser des modèles de première approximation des composants électroniques usuels dans l'analyse d'un circuit.
2. Appliquer les lois de tensions et de courants dans un circuit électrique pour mettre en équations et déterminer, analytiquement et par calcul à la main ou à l'aide d'un logiciel, selon les exigences formulées, les réponses temporelles de circuits résistifs soumis subitement à une excitation.

Description officielle : <https://www.usherbrooke.ca/admission/fiches-cours/gen135/>

## **GEN136 : Circuits électriques II**

1. Utiliser des modèles de première approximation des composants R, L, C, des diodes, des amplificateurs opérationnels idéaux et des transistors bipolaires en commutation dans l'analyse d'un circuit.

Description officielle : <https://www.usherbrooke.ca/admission/fiches-cours/gen136/>

## 2 SYNTHÈSE DE L'ÉVALUATION

Tableau 1 : Synthèse de l'évaluation de l'unité

Évaluation	GEN111-1	GEN135-1	GEN135-2	GEN136-1
Rapport d'APP	30	15	25	15
Validation		5	20	
Évaluation formative théorique				
Évaluation formative pratique				
Évaluation sommative théorique		25	80	45
Évaluation sommative pratique			25	
Évaluation finale		25	80	40
Total	30	70	230	100

## 3 QUALITÉS DE L'INGÉNIEUR

Les qualités de l'ingénieur visées par cette unité d'APP sont les suivantes. D'autres qualités peuvent être présentes sans être visées ou évaluées dans cette unité d'APP. Pour une description détaillée des qualités et leur provenance, consultez le lien suivant :

<https://www.usherbrooke.ca/genie/etudiants-actuels/au-baccalaureat/bcapg/>

Tableau 2 : Tableau des qualités de l'ingénieur

Numéro	Libellé	Touchée	Évaluée
Q01	Connaissances en génie	✓	✓
Q02	Analyse de problèmes	✓	✓
Q03	Investigation		
Q04	Conception	✓	✓
Q05	Utilisation d'outils d'ingénierie	✓	✓
Q06	Travail individuel et en équipe		
Q07	Communication	✓	✓
Q08	Professionalisme		
Q09	Impact du génie sur la société et l'environnement		
Q10	Déontologie et équité		
Q11	Économie et gestion de projets		
Q12	Apprentissage continu		

## 4 ÉNONCÉ DE LA PROBLÉMATIQUE

Vous êtes stagiaire chez RoboTech, une firme spécialisée dans la conception de robots. Cette firme développe plusieurs systèmes électroniques visant à rendre leur robot de plus en plus autonome dans ses mouvements.

Une des fonctions de ce robot consiste à se déplacer en suivant une ligne blanche tracée par terre pour atteindre sa destination temporaire. Afin d'ajouter cette fonctionnalité au robot, un des ingénieurs de la firme propose un circuit électronique basé sur 3 capteurs optoélectroniques de façon à fournir une tension analogique traduisant la distance du robot perpendiculairement à la ligne blanche, permettant ainsi au robot de corriger son parcours. Le circuit proposé est illustré à la Figure 1. Il fournit quelques explications afin d'analyser les différentes sections et de compléter le calcul des valeurs manquantes pour certaines résistances.

Le circuit intégré X1 (OPB704) est un capteur de réflexions; la diode interne émet une onde infrarouge (IR) et le phototransistor interne passe de l'état bloqué à l'état saturé si l'onde est réfléchi (notamment à partir d'une surface blanche). Le courant de la diode IR est fixé à 40 mA<sup>1</sup> (voir fiche technique). Ainsi, le phototransistor de X1 devrait permettre le passage d'un courant si le circuit détecte une ligne blanche (à la manière d'un lecteur de code à barres), ce qui va créer une tension à une des entrées du comparateur. La sortie de l'amplificateur opérationnel (ampli-op) U1A, monté en comparateur, devrait alors passer de 0 V à 5 V. Afin de réduire la consommation de l'énergie provenant des piles du robot, le courant fourni au diviseur de tension formé par R19 et R20 (tension Ref) devrait être plus petit que 50 µA.

Afin d'obtenir une information visuelle, le circuit comportera trois diodes électroluminescentes (DEL ou LED en anglais) D1, D2 et D3 indiquant la réception d'un signal provenant des capteurs. La tension de 5 V à la sortie du comparateur provoquera la saturation du transistor Q1 (2N3904) qui fournit un courant d'alimentation aux DEL, utilisées comme voyant. L'ingénieur mentionne que l'on peut utiliser un modèle pour la DEL ou utiliser la méthode de la droite de charge en vue de déterminer les composants du circuit de polarisation des DEL. On vous informe que pour illuminer la DEL rouge, un courant direct de 10 mA serait suffisant. Toutefois, il faudra déterminer, par la méthode de la droite de charge, le courant circulant dans la DEL jaune et la DEL bleue.

L'amplificateur opérationnel U1D permet d'additionner les tensions des ampli-op en comparateur et d'obtenir une tension de 5 V à la sortie (Vout) lorsque les trois capteurs X1-3 détectent une réflexion en même temps. En terminologie numérique, l'addition des trois tensions appliquées aux résistances de sommation R13, R14 et R15 s'appelle une conversion numérique-analogique si l'on respecte les relations suivantes :

- $R14 = 2 * R13$
- $R15 = 4 * R13$
- $R16 = 8 * R13$

Le circuit doit fournir une tension Vout analogique comprise entre 0 V et 5 V à l'entrée du convertisseur analogique-numérique du robot. Pour y arriver, on peut procéder à la mise en équation complète du modèle linéaire du circuit en utilisant les lois de Kirchhoff (i.e., la méthode des boucles et la méthode des nœuds). Une

---

<sup>1</sup> Voir les sections OPB704 de la fiche technique.

fois le système d'équations algébriques linéaires obtenu, il faudra le résoudre à la main. Une simulation<sup>2</sup> par LTSpice permettra également de valider les résultats obtenus à la main.

Comme nous nous intéressons ici à la valeur de  $V_{out}$ , il faudra également étudier la possibilité de déterminer sa valeur, non pas par une mise en équation complète du circuit, mais par la méthode de la superposition ou par des simplifications successives faisant intervenir des équivalents Thévenin ou Norton et des combinaisons série et parallèle d'éléments.

Pour une analyse à la main, l'ingénieur propose d'appliquer trois sources de tension idéales ayant comme valeur 0 V ou 5 V appliquées aux résistances de sommation  $R_{13}$ ,  $R_{14}$  et  $R_{15}$ , et considérer que l'amplificateur opérationnel  $U_{1D}$  fonctionne avec un gain approximativement unitaire. Il suggère que cette analyse peut se faire facilement si on utilise le principe de superposition.

On vous suggère d'étudier le fonctionnement du capteur OPB704, de l'ampli-op en comparateur  $U_{1A}$ , du transistor  $Q_1$ , des diodes électroluminescentes (DEL) afin de fixer les valeurs manquantes des résistances du circuit ( $R_1$ ,  $R_3$ ,  $R_5$ ,  $R_9$ ,  $R_{18}$ ,  $R_{19}$  et  $R_{20}$  + ajustement du potentiomètre  $R_{21}$ ), d'identifier les courants manquants ( $I_{DEL\text{ jaune}}$ ,  $I_{DEL\text{ bleu}}$ ) et d'étudier l'étage amplificateur utilisant l'amplificateur opérationnel  $U_{1D}$ .

Sachant que les composants électroniques comportent des imperfections, nous vous suggérons de prendre des mesures pratiques des tensions des différents composants en fonction de leur utilisation. Ceci vous permettra de valider les valeurs que vous utiliserez dans vos calculs.

Pour finir, l'ingénieur rappelle qu'il est important d'utiliser le moins d'entrées possible, considérant qu'elles se font rares sur le robot. Il est content de voir que la solution actuelle ne prendra qu'une seule entrée analogique.

---

<sup>2</sup> Pour la simulation LTSpice, seulement la section du sommateur passif est obligatoire. Ceux qui voudraient simuler le circuit entier peuvent le faire. Pour le reste du circuit : les capteurs OPB704 et les résistances de polarisation de leur DEL-IR peuvent être remplacés par des sources de tensions idéales de 0 V ou  $V_{in}$ . Les DEL à choisir dans le simulateur sont les QTLP690C. Les amplificateurs opérationnels MCP6024 peuvent être remplacés par AD822 pour la simulation.



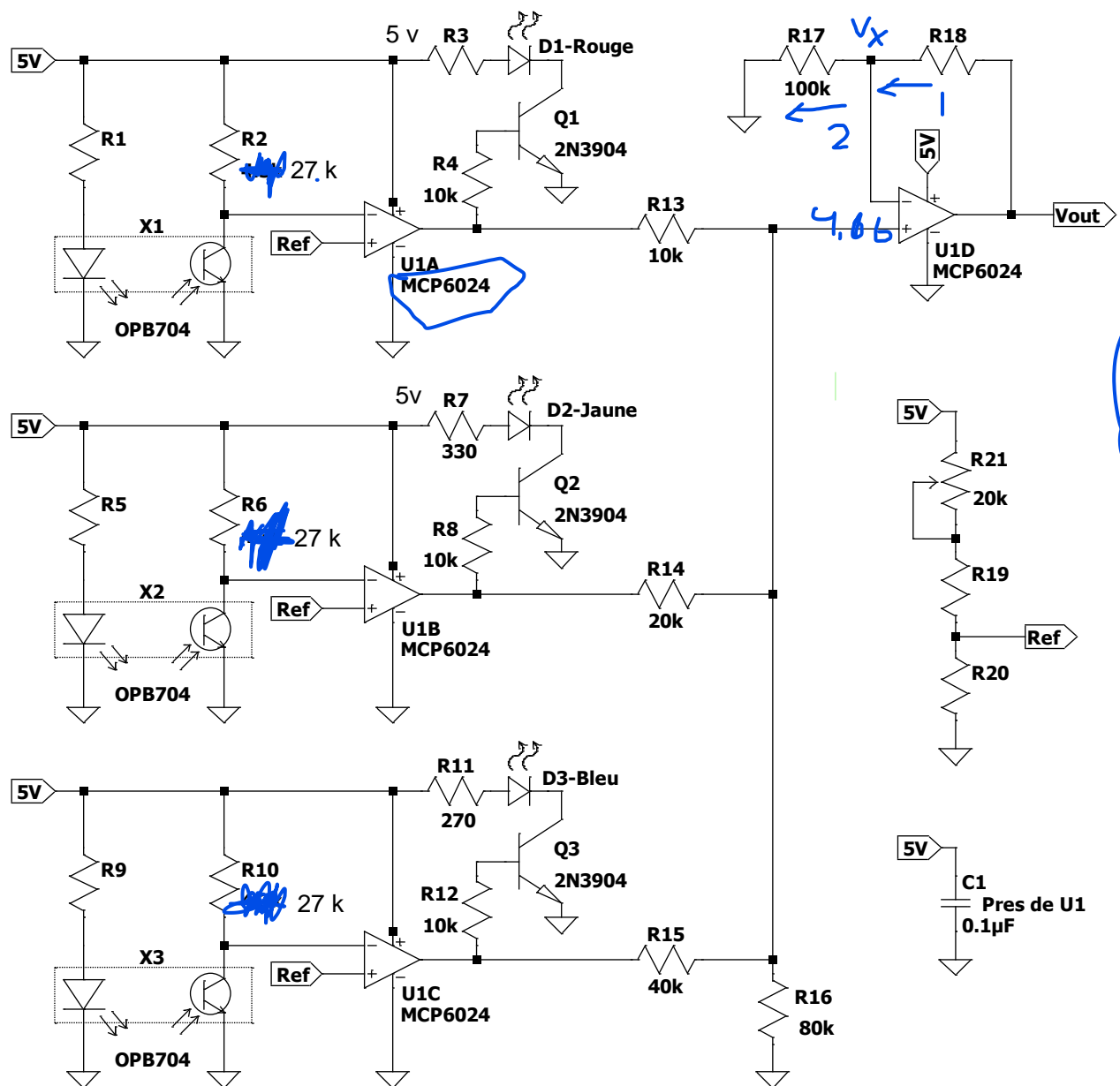


Figure 1 : Circuit de la problématique

## 5 CONNAISSANCES NOUVELLES

### 5.1 Pour le procédural 1 et le laboratoire 1

#### Connaissances déclaratives (QUOI?) :

- Systèmes linéaires ou non linéaires, modèles, principe de superposition.
- Système d'équations algébriques linéaires, matrices, déterminant.
- Circuit, courant, voltage, résistance, sources indépendantes et contrôlées.
- Loi d'Ohm, lois de Kirchhoff.
- Branchements série et parallèle, diviseurs de tension et de courant.
- Équations de nœuds et de boucles.
- Modèles équivalents Thévenin et Norton.
- Comparateur.
- Logiciel de simulation de circuit.
- Interprétation de symboles et de schémas électriques.

#### Connaissances procédurales (COMMENT?) :

- Procédures d'application de la loi d'Ohm et des deux lois de Kirchhoff.
- Procédure de détermination de la résistance équivalente résultant de combinaisons séries et parallèles de plusieurs résistances.
- Procédures de conception d'un diviseur de tension et d'un diviseur de courant.
- Procédure de représentation d'un circuit par un modèle équivalent Thévenin ou Norton.
- Procédure de mise en équation complète d'un circuit résistif, incluant des sources indépendantes ou contrôlées, par la méthode des boucles ou la méthode des nœuds.
- Procédure d'analyse d'un circuit linéaire à sources multiples par le principe de superposition.
- Procédures d'utilisation du logiciel de simulation
- Procédure pour la capture schématique d'un circuit en vue d'une simulation.
- Procédure de rédaction d'un rapport.

#### Connaissances conditionnelles (QUAND?) :

- Quand utiliser la méthode des boucles ou la méthode des nœuds pour analyser un circuit.
- Quand utiliser des méthodes de simplification de circuit plutôt qu'une mise en équation complète pour analyser un circuit.
- Quand utiliser le principe de la superposition pour analyser un circuit.

### 5.2 Pour le procédural 2 et la problématique

#### Connaissances déclaratives (QUOI?) :

- Droite de charge.
- Amplificateur de tension, modèle, gains, résistances d'entrée et de sortie.
- Amplificateur opérationnel idéal.

### **Connaissances procédurales (COMMENT?) :**

- Procédure d'analyse d'une portion d'un circuit par la méthode de la droite de charge.
- Procédure d'analyse d'un circuit comportant un amplificateur opérationnel idéal.

### **Connaissances conditionnelles (QUAND?) :**

- Quand utiliser la méthode de la droite de charge pour analyser un circuit.

## **6 GUIDE DE LECTURE**

### **6.1 Références essentielles**

- R. Hambley, Electrical engineering, Principle and applications, Seventh Edition, ISBN: 978-0-13-448414-3.
- J.P. Gouin, Rédaction technique Faculté de génie, disponible sur le site WEB de S1.
- C. Richard, Recueil de lectures supplémentaires, disponible sur le site Web de l'APP.

### **6.2 Pour le procédural 1 et le laboratoire 1 :**

- Volume Hambley :
  - Chap. 1 : toutes les sections (majoritairement de la révision) (35 pages)
  - Chap. 2 : 2.1 à 2.3 pp. 46 - 60 (majoritairement de la révision) (15 pages)
  - Chap. 2 : 2.4 à 2.8 pp. 60 - 109 (nouvelle matière) (49 pages)
- Recueil de lectures supplémentaires
  - Section « Équivalents Thévenin et Norton » (5 pages)
  - Section « Le comparateur » (10 pages)
- Fiches techniques du MCP6024 et d'une DEL disponibles sur la page web de l'APP

### **Exercices suggérés :**

- Pour le 1er chapitre : 1.11, 1.13, 1.21, 1.27, 1.37, 1.38, 1.42, 1.43, 1.44, 1.62, 1.63, 1.64, 1.70, 1.74
- Pour le 2ième chapitre : 2.1, 2.3, 2.23, 2.25, 2.32, 2.34, 2.36, 2.38, 2.39, 2.48, 2.49, 2.56, 2.66, 2.67, 2.77, 2.80, 2.82, 2.89, 2.95, 2.96, 2.97

## 6.3 Pour le procédural 2 et la problématique

- Volume Hambley
  - Chap. 9 : 9.1 et 9.2 pp. 460-466 (4 pages)
  - Chap. 10 : 10.1 pp. 504-509 (6 pages)
  - Chap. 10 : 10.6 pp. 521-522 (2 pages)
  - Chap. 13 : 13.1 et 13.2 pp. 647-655 (9 pages)
- Recueil de lectures supplémentaires
  - Section « Notes sur les systèmes et modèles » (13 pages)
  - Section « Droite de charge » (6 pages)
  - Section « Introduction aux transistors » (7 pages)
- Fiches techniques du OPB704, du MCP6024, du 2N3904 et d'une DEL disponibles sur la page web de l'APP (uniquement les éléments pertinents à la problématique).

### Exercices suggérés :

- Pour le 9ième chapitre : 9.16
- Pour le 10ième chapitre : 10.4, 10.6, 10.9, 10.12
- Pour le 13ième chapitre : 13.1, 13.3, 13.7, 13.11, 13.24a

## 7 LOGICIELS ET MATÉRIEL

- Des kits de composants électroniques seront distribués pour l'APP. Ces kits contiennent l'ensemble des composants dont vous avez besoin à l'exception des résistances qui sont en libre-service dans les laboratoires 3024 et 3018.
- Le logiciel LTSpice XVII est un logiciel de simulation gratuit. Un tutoriel d'installation et d'utilisation sera donné sur le site web de la session.

## 8 SANTÉ ET SÉCURITÉ

### 8.1 Dispositions générales

Dans le cadre de la présente activité, vous êtes réputés avoir pris connaissance des politiques et directives concernant la santé et la sécurité. Ces documents sont disponibles sur les sites web de l'Université de Sherbrooke, de la Faculté de génie et du département. Les principaux sont mentionnés ici et sont disponibles dans la section Santé et sécurité du site web du département: <http://www.gel.usherbrooke.ca/santesecurite/>.

- Politique 2500-004 : Politique de santé et sécurité en milieu de travail et d'études
- Directive 2600-04 : Directive relative à la santé et à la sécurité en milieu de travail et d'études
- Sécurité en laboratoire et atelier au département de génie électrique et de génie informatique

### 8.2 Dispositions particulières

Si nécessaire, il faut mettre les dispositions spécifiques à l'unité APP pour les questions de santé et sécurité. Sinon, cette section peut être omise et il n'est pas nécessaire de numéroter et de titrer la section précédente, celle des dispositions générales.

## **9      SOMMAIRE DES ACTIVITÉS**

### **Semaine 1**

- Première rencontre de tutorat
- Étude personnelle et exercices
- Formation à la pratique procédurale 1
- Formation à la pratique en laboratoire
- Formation à la pratique procédurale 2

### **Semaine 2**

- Étude personnelle et exercices
- Validation pratique de la solution
- Rédaction du rapport d'APP
- Remise des livrables d'APP
- Deuxième rencontre de tutorat
- Évaluation formative théorique et pratique
- Évaluation sommative théorique et pratique

## 10 PRODUCTION À REMETTRE

### Consignes

- La résolution de la problématique, la validation et le rapport se font **en équipe de deux (2)**. Vous devez inscrire votre équipe en utilisant le formulaire d'inscription sur la page web de l'APP avant la distribution des kits de pièces.
- Le rapport est à remettre **par équipe de 2 étudiants en format PDF**.
- Vous devez remettre votre rapport, selon la procédure de dépôt électronique, **avant 08h30 le matin du 2ème tutorat de l'APP**.
- Il y aura une pénalité de 20% par jour de retard de dépôt.
- Le rapport doit suivre les consignes suivantes présentées dans le guide de rédaction technique du cours GEN-111.

### 10.1 Validation

#### Consignes

- Vous devez avoir assemblé le circuit en entier avant de vous présenter au laboratoire pour le tester lors de la période de validation pratique de la solution.
- Votre circuit doit être fonctionnel au début de la validation.
- **Vous devez avoir votre plan de tests disponibles (Logbook ou ordinateur).**
- **Vous devez avoir vos fichiers de simulations (LTSpice) disponibles sur l'ordinateur.**

Note : Il est important de suivre les bonnes pratiques de montage sur plaquette. Référez-vous à la présentation disponible sur la page web de l'APP1 SN.

Lors de la validation, le corps professoral vérifiera les éléments décrits dans le Tableau 3. Les professeurs n'évalueront pas toutes les parties du circuit, mais en cibleront certaines qui permettront d'évaluer vos compétences.

Pour cela, votre Logbook doit être prêt pour démontrer les éléments évalués et répondre aux questions. Votre Logbook doit contenir tous les calculs et simulations requis pour la résolution de la problématique. Il contient également les résultats obtenus pour chacun des étages et démontrera si les objectifs sont atteints en fonction d'un plan de tests. Ce dernier contient l'ensemble des tests planifiés pour valider le fonctionnement d'un circuit depuis les tests unitaires jusqu'aux tests fonctionnels. Le plan de tests peut être un tableau d'éléments à valider avec les performances attendues. Il devrait également contenir l'information sur les signaux attendus sur les points de tests du circuit. Quand les performances sont atteintes, on coche « fait » devant le test à effectuer. De façon générale, un plan de validation permet à priori de savoir ce qu'on va mesurer et se diriger plus rapidement au but que d'avoir une approche erratique. Nous évaluerons aussi les simulations faites sur LTSpice du circuit de sommation passif.

Notez qu'un circuit fonctionnel n'est pas garant d'une bonne note pour la validation. Nous évaluons plus les processus utilisés que les résultats. La validation est par équipe de 2 personnes.

## 10.2 Rapport

Les calculs et les analyses détaillées des circuits sont consignés dans le logbook et serviront de base pour les éléments demandés dans le développement du rapport. Le rapport sera corrigé une seule fois et une seule note sera attribuée aux aspects techniques, en fonction du Tableau 4. La qualité de la communication influence grandement la note attribuée aux aspects techniques. Ainsi, des phrases mal construites ou pouvant porter à interprétation, des nombres sans unités ou des graphiques incomplets sont autant des exemples qui nuisent à la compréhension technique et font perdre des points sur cet aspect. Les correcteurs n'ont pas à interpréter des phrases ou des paragraphes. Soyez donc précis, concis et utilisez seulement l'information pertinente.

Même si les travaux sont remis en équipe de 2 personnes, vous devez être en mesure de résoudre la problématique de façon individuelle pour être en mesure de réussir les examens.

## 10.3 Contenu du rapport

Votre rapport doit présenter les éléments et sections suivants :

- Page titre
- Tables des matières
- Introduction
- Développement (6 pages maximum)
  - Calculs et démarches pour la polarisation des DEL IR. ✓
  - Calculs et démarches pour le calcul de  $V_{ref}$  et des résistances associées.
  - Calculs et démarches de la valeur de la résistance  $R_3$  limitant le courant de DEL rouge en montrant le circuit équivalent de polarisation incluant le modèle du transistor  $Q_1$  en saturation. Rapporter ce circuit équivalent selon une droite de charge sur la courbe I-V d'une DEL rouge typique (disponible sur le site Web).
  - Calculs et démarches pour trouver les courants circulant dans la DEL jaune et la DEL bleue en montrant le circuit équivalent de polarisation (incluant les transistors  $Q_2$  et  $Q_3$  en saturation) et en rapportant ce circuit selon la méthode de la droite de charge sur la courbe I-V de la DEL en question (disponible sur le site Web).
  - Analyse du circuit simplifié de l'additionneur (en connectant des sources 0/5 V à  $R_{13}$ ,  $R_{14}$  et  $R_{15}$ ).
    - Mise en équations complète par la méthode des boucles, la méthode des nœuds et la méthode de superposition.
    - Solution complète des équations selon la méthode de votre choix (méthode des boucles ou la méthode des nœuds ou méthode de superposition).
  - Calcul et démarche de la valeur de la résistance  $R_{18}$  pour le circuit d'amplification.
  - Tableau des 8 possibilités de tension ( $V_+$  de  $U_{1D}$ ) calculées, simulées et réelles.
  - Tableau des pièces calculées et choisies (assurez-vous que toutes les résistances à calculer s'y trouvent!).
- Conclusion

Aucun schéma de simulation ni de résultat expérimental (à part les valeurs du tableau des  $V_+$ ) ne doit être présenté dans le rapport. Ceux-ci seront évalués lors de la validation.



# 11 ÉVALUATIONS

## 11.1 Production à remettre

L'évaluation des productions à remettre portera sur les compétences figurant dans la description des activités pédagogiques. La pondération des différents éléments est indiquée dans les tableaux suivants. L'évaluation est directement liée aux livrables demandés à la section 10 et les tableaux suivants y réfèrent à l'aide d'une courte description.

Tableau 3 : Grille d'évaluation de la compétence pour la validation

Compétences	Qualités
<b>GEN135-1</b>	
<b>Critère 1 : Modéliser les composants dans l'analyse d'un circuit</b>	
Expliquer le comportement de l'amplificateur et du transistor, en se basant sur leur modèle équivalent.	Q01
<b>GEN135-2</b>	
<b>Critère 2 : Conception d'un circuit électrique selon des spécifications.</b>	
Concevoir un plan de tests	Q04
Effectuer le montage d'un circuit fonctionnel	Q04
Déterminer la valeur des composants manquants d'un circuit électrique en fonction d'un cahier des charges. (Choix et calculs de la valeur des résistances manquantes)	Q01-Q04
<b>Critère 3 : Simuler le point d'opération d'un circuit électrique</b>	
Déterminer le point d'opération à l'aide d'un logiciel par simulation.	Q05

Tableau 4 : Grille d'évaluation de la compétence pour le rapport

Compétences	Qualités
<b>GEN135-1</b>	<b>Q01</b>
<b>Critère 1 : Modéliser les composants dans l'analyse d'un circuit</b>	
Modélisation des composants dans un circuit (calcul de R18)	
Tableau des pièces calculées et choisies	
<b>GEN 135-2</b>	<b>Q01</b>
<b>Critère 1 : Modéliser les composants dans l'analyse d'un circuit</b>	
Mettre en équation en utilisant diverses techniques de résolution	
Solution complète d'une méthode de votre choix	
Tableau des 8 possibilités de tension V+ calculées, simulées et réelles	
<b>GEN136-1</b>	<b>Q01</b>
<b>Critère 1 : Modéliser les composants dans l'analyse d'un circuit</b>	
Expliquer le comportement du transistor, en se basant sur son modèle équivalent	
Droite de charge de la DEL rouge	
<b>GEN111-1</b>	<b>Q07</b>
<b>Critère 1 : Organiser et présenter l'information pertinente</b>	

---

Recourir à des références

Mise en page générale

**Critère 2 : Présenter des communications graphiques de qualité**

Tableau & Systèmes d'équations

**Critère 3 : Rédiger dans une langue de qualité**

---

## 11.2 Évaluation sommative de l'unité

L'évaluation théorique est un examen écrit qui porte sur tous les éléments de compétences de l'unité. C'est un examen qui se fait sans documentation et qui est d'une durée de 2h30. L'évaluation pratique porte sur GEN135-2 comme vu pendant l'unité et elle se fait sans documentation et est d'une durée de 30 minutes.

## 11.3 Évaluation sommative finale

L'évaluation finale théorique est un examen écrit qui porte sur tous les éléments de compétences de l'unité. C'est un examen qui se fait sans documentation et est d'une durée de 3h.

# 12 POLITIQUES ET RÈGLEMENTS

Dans le cadre de la présente activité, vous êtes réputés avoir pris connaissance des politiques, règlements et normes d'agrément suivants.

### Règlements et politiques de l'Université de Sherbrooke

- Règlement des études  
<https://www.usherbrooke.ca/registraire/>

### Règlements facultaires

- Règlement facultaire d'évaluation des apprentissages / Programmes de baccalauréat
- Règlement facultaire sur la reconnaissance des acquis

### Norme d'agrément

- Informations pour les étudiants au premier cycle :  
<https://www.usherbrooke.ca/genie/etudiants-actuels/au-baccalaureat/bcapg>
- Informations sur l'agrément :  
<https://engineerscanada.ca/fr/agrement/a-propos-de-l-agrement>

Si vous êtes en situation de handicap, assurez-vous d'avoir communiqué avec le Programme d'intégration des étudiantes et étudiants en situation de handicap à l'adresse de courriel [prog.integration@usherbrooke.ca](mailto:prog.integration@usherbrooke.ca).

# 13 INTÉGRITÉ, PLAGIAT ET AUTRES DÉLITS

Dans le cadre de la présente activité, vous êtes réputés avoir pris connaissance de la déclaration d'intégrité relative au plagiat :

<https://www.usherbrooke.ca/ssf/antiplagiat/jenseigne/declaration-dintegrite/>

## 14 FORMATION À LA PRATIQUE PROCÉDURALE 1

### Buts de l'activité

- Se pratiquer à utiliser les équivalents Thévenin et Norton avec la présence d'une source dépendante.
- Se pratiquer à utiliser le principe de superposition, analyser un circuit amplificateur et à faire des transformations Thévenin / Norton
- Se pratiquer à concevoir un diviseur de potentiel multiple respectant certaines contraintes.
- Établir un lien entre le nombre de contraintes imposées à un circuit et le nombre de degrés de liberté disponible du circuit.
- Pratiquer la mise en équation d'un circuit soumis à certaines contraintes.
- Se pratiquer à utiliser des comparateurs.

### 14.1 Exercices préparatoires

#### Exercice 1 : Loi des nœuds et loi des boucles

Mettre en équation le circuit suivant afin de trouver le courant et la tension dans  $R_1$  selon :

- la loi des boucles (circuit de gauche)
- la loi des nœuds (circuit de droite)

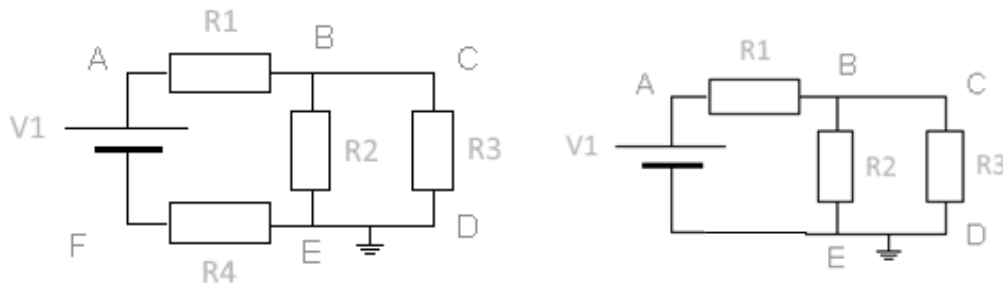


Figure 2 : Circuits de l'exercice 1, pré-procédural 1

#### Exercice 2 : Équivalent Thévenin et Norton

Pour le circuit ci-dessous, dessiner et calculer le circuit équivalent Thévenin et Norton entre les points A et B :

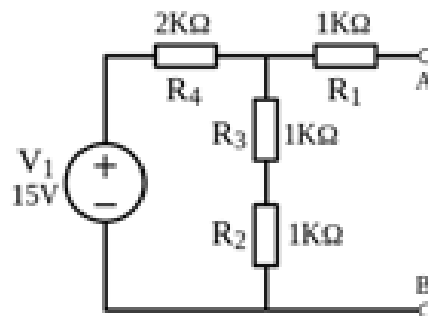


Figure 3 : Circuit de l'exercice 2, pré-procédural 1

### Exercice 3 : **Modélisation**

Pour chacun des dispositifs suivants, tracer le graphique de la caractéristique  $i$ - $v$  prévalant entre les deux bornes identifiées. De plus, écrire l'équation décrivant le modèle.

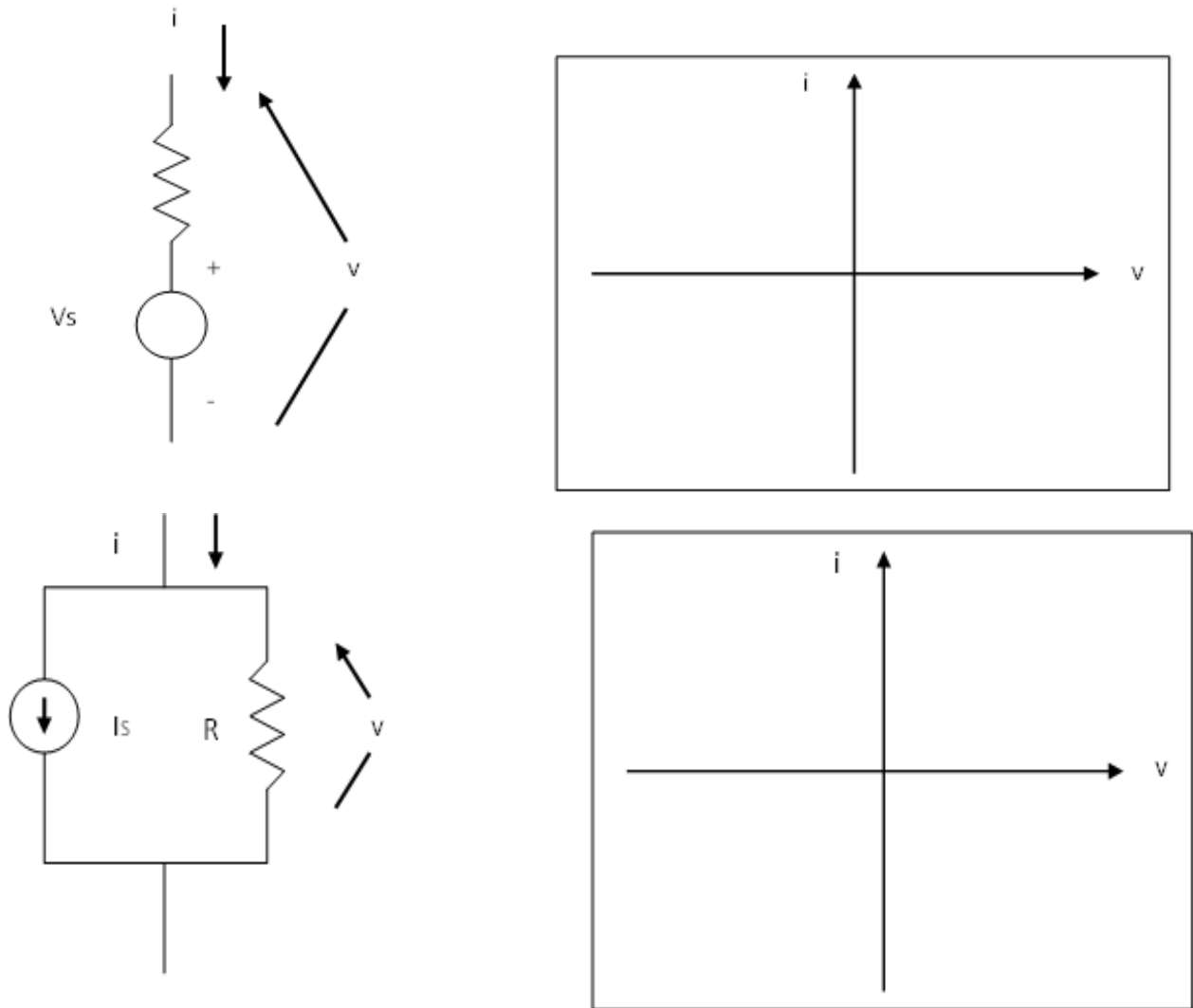


Figure 4 : Circuits et courbes  $i$ - $v$  de l'exercice 3, pré-procédural 1

## 14.2 Exercices du procédural

### Exercice 1 : **Équivalents Thévenin et Norton avec source dépendante**

Objectif : Se pratiquer à utiliser les équivalents Thévenin et Norton avec la présence d'une source dépendante.

#### Énoncé

Trouver l'équivalent Thévenin et Norton du circuit suivant :

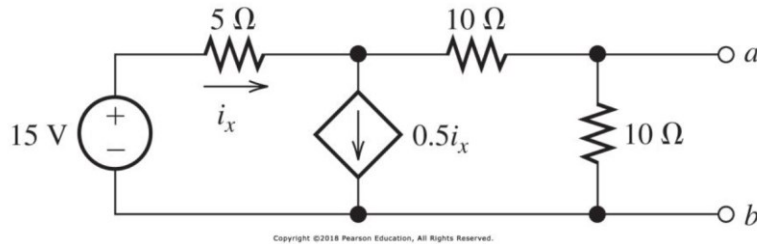


Figure 5 : Circuit exercice 1, procédural 1

### Exercice 2 : **Analyse d'un additionneur**

Objectif : Se pratiquer à utiliser le principe de superposition, analyser un circuit amplificateur et à faire des transformations Thévenin / Norton

#### Énoncé

Un groupe de musique vocale et instrumentale se trouve dans un studio d'enregistrement. On enregistre séparément la voix de la soliste, les voix du chœur et les musiciens. Par la suite, après avoir ajusté convenablement le niveau de chacune des trois sources, on additionne ensemble ces trois signaux issus du « Line out » des trois appareils d'enregistrement pour ne former qu'un seul signal. Vue de l'externe, chaque sortie « Line out » peut être représentée par un équivalent Thévenin comportant une source de tension en série avec une résistance de 10KΩ. Le circuit passif utilisé pour additionner les signaux ensemble apparaît en pointillé à la figure suivante.

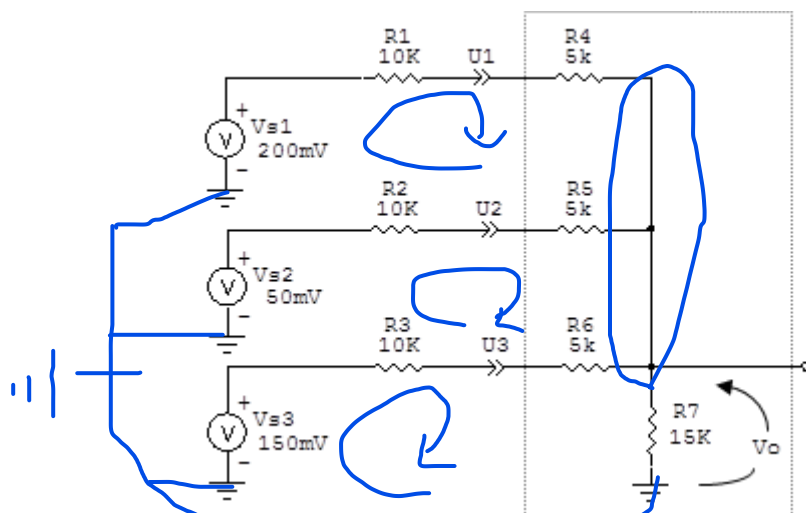


Figure 6 : Circuit exercice 2, procédural 1

- Ce circuit comporte combien de nœuds et combien de boucles ?
- En gardant les valeurs symboliques  $V_{S1}$ ,  $V_{S2}$  et  $V_{S3}$ , mettre en équations le circuit afin de déterminer la valeur de  $V_O$  en utilisant la méthode de la superposition.
- En gardant les valeurs symboliques  $V_{S1}$ ,  $V_{S2}$  et  $V_{S3}$ , mettre en équations le circuit en utilisant la méthode des boucles.
- En utilisant la méthode des déterminants de Cramer, résoudre à la main ce système d'équations afin de déterminer la valeur du courant circulant dans  $R_7$  puis, déterminer la valeur de la tension de sortie  $V_O$ .
- En gardant les valeurs symboliques  $V_{S1}$ ,  $V_{S2}$  et  $V_{S3}$ , mettre en équations le circuit en utilisant la méthode des nœuds et déterminer à nouveau la valeur de  $V_O$ . Quelle(s) conclusion(s) en tirez-vous ?

### Exercice 3 : Analyse d'un circuit avec comparateurs

Objectif : Se pratiquer à concevoir un diviseur de potentiel multiple respectant certaines contraintes. Établir un lien entre le nombre de contraintes imposées à un circuit et le nombre de degrés de liberté disponible du circuit. Pratiquer la mise en équation d'un circuit soumis à certaines contraintes. Se pratiquer à utiliser des comparateurs.

#### Énoncé

Le circuit suivant constitue une façon facile de réaliser VU-mètre avec des DEL en fonction du signal d'entrée  $V_{in}$ . Plus le signal d'entrée  $V_{in}$  sera fort, plus le nombre de DEL allumées sera grand. Les DEL seraient branchées aux sorties 1 à 4. Ceci correspond à un convertisseur analogique-numérique.

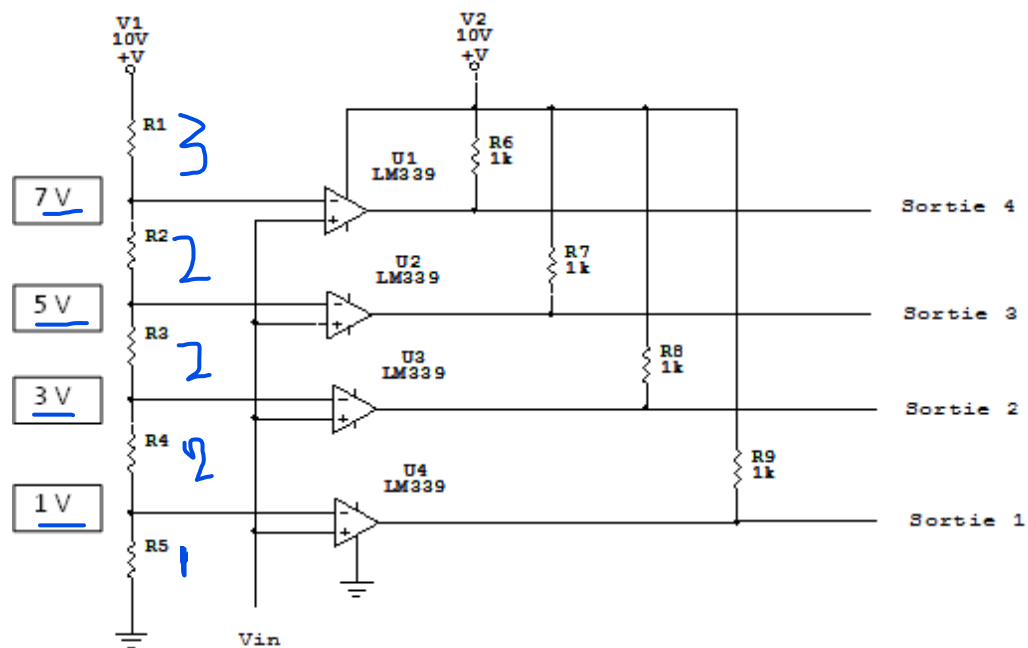


Figure 7 : Circuit exercice 3, procédural 1

- a) Considérons le diviseur de tension formé des résistances R1 à R5. Calculer les 5 valeurs de résistances pour obtenir les tensions indiquées sur le schéma tout en ayant une valeur totale de résistance vue par la source  $V_1$  égale à  $10\text{ k}\Omega$ .
- b) Illustrer graphiquement l'évolution dans le temps de chacune des 4 sorties des comparateurs LM339 pour une tension analogique d'entrée évoluant telle qu'illustrée à la figure suivante.

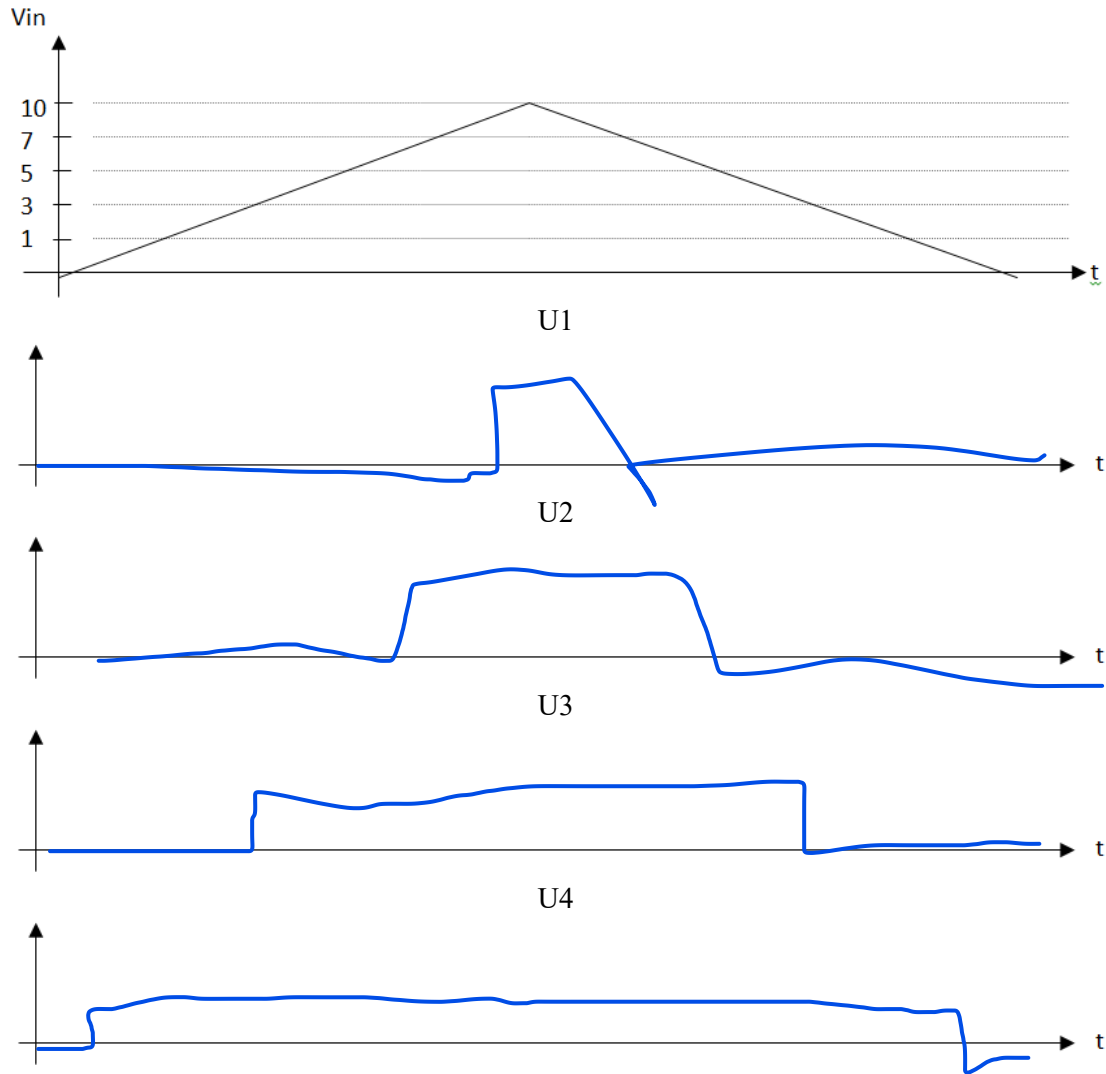


Figure 8 : Graphiques exercice 3, procédural 1

## 15 FORMATION À LA PRATIQUE EN LABORATOIRE

**Le premier but de cette activité est de s'initier à l'utilisation du logiciel LTSpice**, en vous pratiquant durant le laboratoire à l'utilisation du logiciel pour valider un design ou des résultats d'analyse manuelle.

Avant votre venue en laboratoire, vous devez lire et assimiler le tutoriel portant sur la simulation avec LTSpice (Tutoriel LTSpice) qui est disponible sur le site Web de l'APP.

En laboratoire, un retour sur le tutoriel LTSpice sera fait, suivi de quelques exercices de compréhension du logiciel. Par la suite, il sera demandé de simuler le circuit de l'avertisseur de porte (voir énoncé de laboratoire sur le site Web) afin de mettre en pratique les notions de la simulation électrique et pour valider les notions de l'APP.

**Le second but de cette activité est de réaliser le montage de la problématique sur plaque d'expérimentation**, selon les bonnes pratiques, et de réaliser des mesures électriques.

Les bonnes pratiques pour un montage sur plaque d'expérimentation sont disponibles sur le site Web de l'APP ou bien dans les documents relatifs au « Laboratoire #2 » de l'APP1SN de la session S1.

Pour cette partie, vous pourrez déjà débiter le montage de la problématique pour ainsi avoir le temps de faire un montage de qualité et d'intégrer les notions de tests unitaires lors du montage de circuit.

Pour la réalisation de votre montage sur plaque d'expérimentation, **le port de lunettes de sécurité est obligatoire.**



## 16 FORMATION À LA PRATIQUE PROCÉDURALE 2

### Buts de l'activité

- Pratiquer la résolution d'un circuit par la méthode de la droite de charge.
- Pratiquer la résolution d'un circuit comportant des dispositifs non linéaires en remplaçant ceux-ci par des modèles linéaires.
- Se pratiquer à utiliser les transistors BJT NPN en saturation.
- Se pratiquer à appliquer le principe de droite de charge à la jonction BE d'un transistor.
- Se pratiquer à expliquer le comportement d'un transistor à l'aide de son modèle équivalent

### 16.1 Exercices préparatoires

#### Exercice 1 : **Modélisation**

- a) Remplir le tableau résumé des caractéristiques d'un ampli-op idéal.
- Gain
  - Impédance d'entrée
  - Impédance de sortie
  - Différence de tension entre ses bornes d'entrées en rétroaction
- b) Pour le dispositif suivant, tracer le graphique de la caractéristique  $i$ - $v$  prévalant entre les deux bornes identifiées. De plus, écrire l'équation décrivant le modèle.

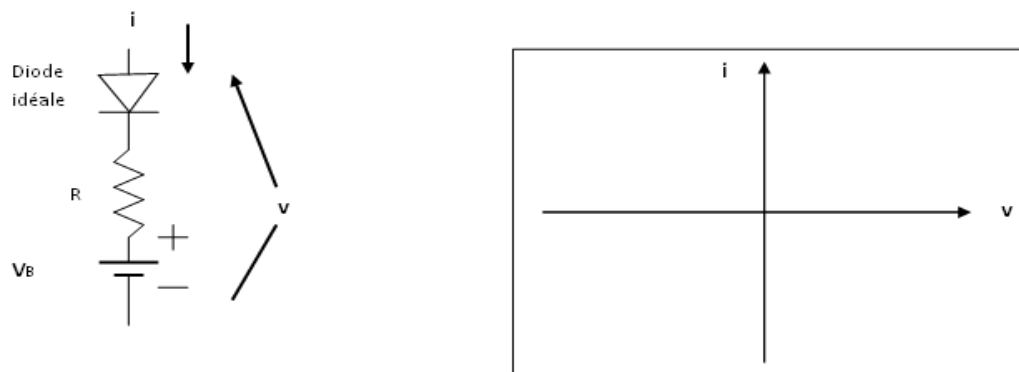


Figure 9 : Circuit et courbe  $i$ - $v$  de l'exercice 1, pré-procédural 2

- c) Faire un graphique des caractéristiques  $i$ - $v$  d'une DEL, puis identifier les régions où elle est allumée et éteinte.

#### Exercice 2 : **Transistor**

- a. Selon la figure suivante, le point d'opération du transistor est de  $40 \mu\text{A}$  à une tension  $V_{BE}$  de  $0,6 \text{ V}$ . Quelle est la plage de tension  $V_{CE}$  et le courant  $I_C$  pour un courant maximum en mode saturation?

BKSE

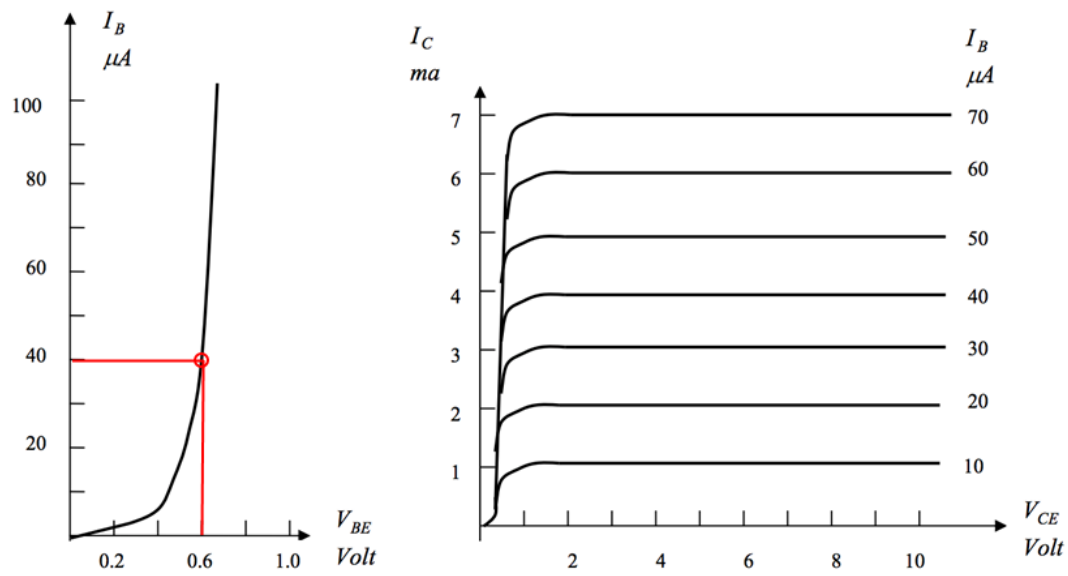


Figure 10 : Courbe  $I_B$  en fonction de  $V_{BE}$  et  $I_C$  en fonction de  $V_{CE}$  de l'exercice 2, pré-procédural 2

## 16.2 Exercices du procédural

### Exercice 1 : Analyse d'un circuit avec DEL

Objectifs : Pratiquer la résolution d'un circuit par la méthode de la droite de charge. Pratiquer la résolution d'un circuit comportant des dispositifs non linéaires en remplaçant ceux-ci par des modèles linéaires.

#### Énoncé

Le circuit suivant est utilisé pour commander l'allumage de la DEL D1, par l'interrupteur S1. La résistance R1, de  $150\ \Omega$ , et la source V1, de 4.5 V, déterminent la valeur du courant qui circule dans la DEL lorsqu'elle est allumée. La caractéristique i-v de la DEL apparaît ci-dessous.

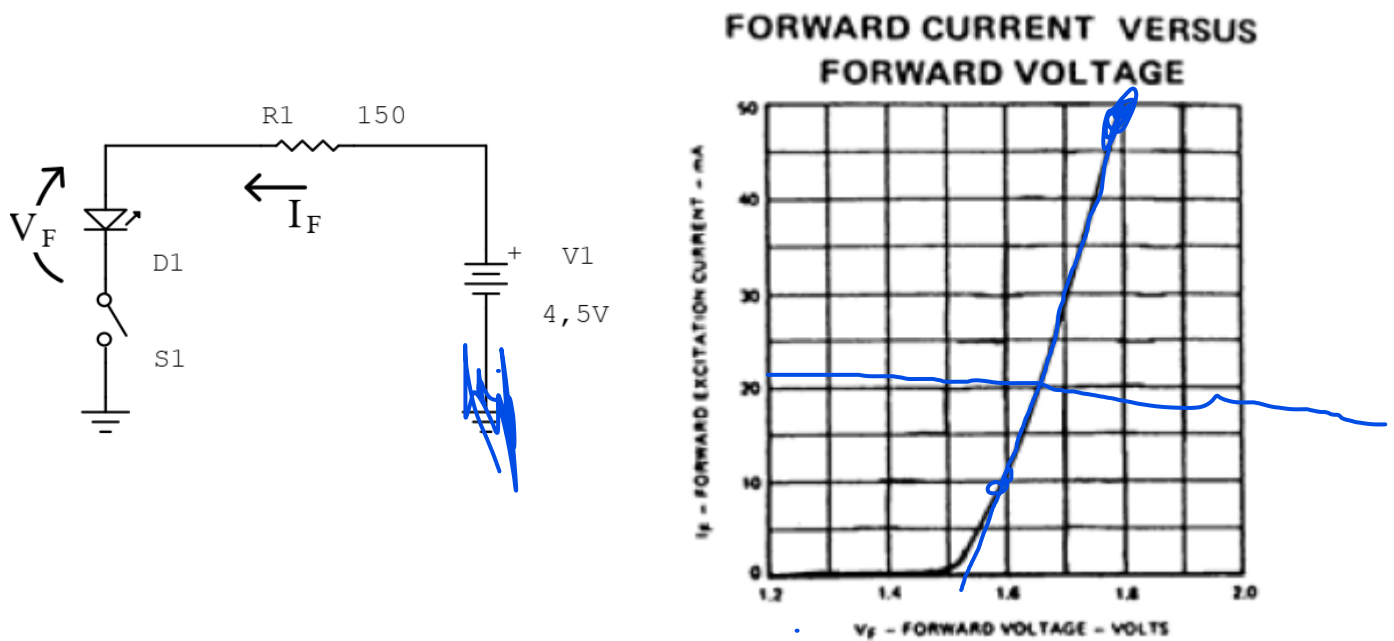


Figure 11 : Circuit et courbe i-v de l'exercice 2, procédural 2

- Par la méthode de la droite de charge, déterminer les valeurs de  $V_F$  et de  $I_F$  lorsque l'interrupteur S1 est fermé.
- Dans le but d'estimer plus rapidement la valeur du courant  $I_F$  circulant dans la DEL et la valeur de la tension  $V_F$  à ses bornes, une première approximation consisterait à modéliser la DEL par une batterie et une résistance série. Déterminer les valeurs de cette résistance et de cette batterie pour des courants  $I_F$  compris entre 0 et 50 mA.
- Utilisant ce modèle, estimer les valeurs de  $V_F$  et de  $I_F$ . Comparer les résultats obtenus aux valeurs déterminées en (a). Quelle(s) conclusion(s) en tirez-vous ?

## Exercice 2 : Analyse d'un circuit avec ampli-op idéal

Objectifs : Pratiquer la résolution d'un circuit par la méthode de la droite de charge. Pratiquer la résolution d'un circuit comportant des dispositifs non linéaires en remplaçant ceux-ci par des modèles linéaires.

### Énoncé

- a) Pour le circuit suivant dans lequel l'amplificateur opérationnel peut être considéré comme idéal, exprimer  $V_{soa}$  en fonction de  $V_{en}$ , de  $R_1$  et de  $R_2$ .

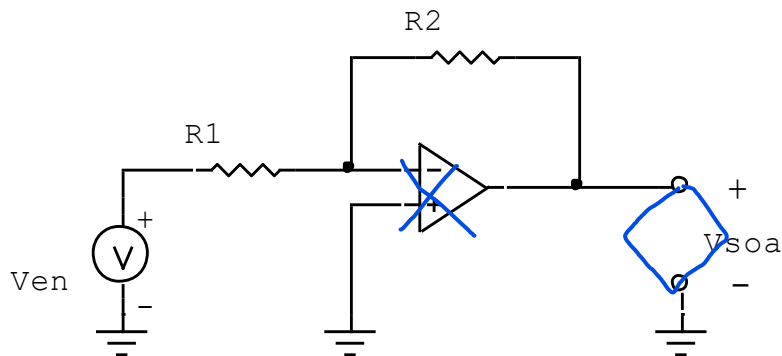


Figure 12 : Circuit de l'exercice 2a, procédural 2

- b) Pour le circuit suivant dans lequel l'amplificateur opérationnel peut être considéré comme idéal, exprimer  $V_{sob}$  en fonction de  $V_1$ , de  $V_2$ , de  $R_3$  et de  $R_4$ .

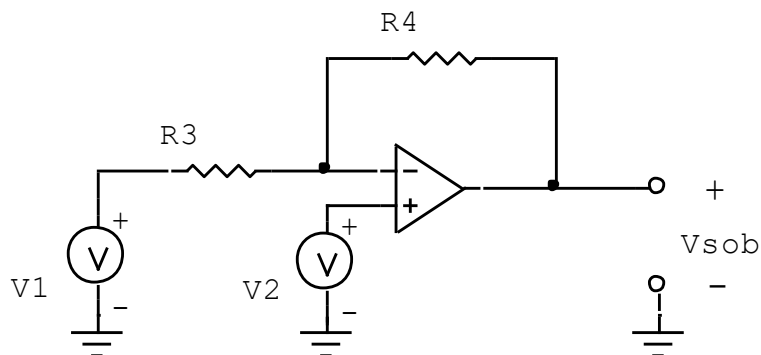


Figure 13 : Circuit de l'exercice 2b, procédural 2

### Exercice 3 : Analyse d'un transistor BJT NPN

Objectifs : Se pratiquer à utiliser les transistors BJT NPN en saturation. Se pratiquer à appliquer le principe de droite de charge à la jonction BE d'un transistor. Se pratiquer à expliquer le comportement d'un transistor à l'aide de son modèle équivalent

#### Énoncé

Dans le circuit suivant, on désire mettre le transistor en mode saturé. Les résistances R1 et R2 sont respectivement 40 k $\Omega$  et 10 k $\Omega$  et V1 est de 5 V. Les caractéristiques i-v pour ce transistor BJT de type NPN sont également fournies.

- Indiquer les zones représentant les modes d'opération bloqué («cutoff»), linéaire («active») et saturé («saturation») sur la caractéristique i-v  $I_C$  en fonction de  $V_{CE}$ .
- Déterminer le point d'opération ( $V_{BE}$ ,  $I_B$ ) par la méthode de droite de charge.
- Déterminer la valeur minimum de R3 pour mettre le transistor en mode saturé (par la méthode de droite de charge)
- Proposer un modèle représentant le circuit en utilisant seulement des composants linéaires.

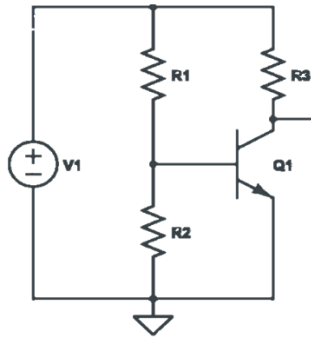


Figure 14 : Circuit de l'exercice 4, procédural 2

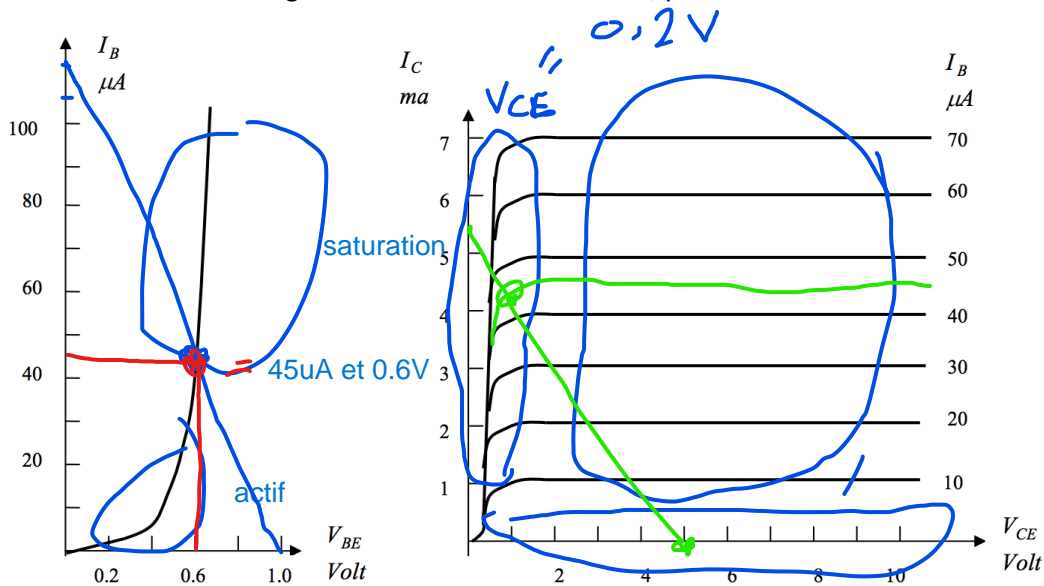


Figure 15 : Courbes i-v de l'exercice 4, procédural 2

#### Exercice 4 : Conception d'un additionneur actif

Objectifs : Se pratiquer à utiliser les caractéristiques d'un amplificateur opérationnel. Se pratiquer à utiliser le principe de superposition

##### Énoncé :

Soit l'additionneur actif réalisé avec un amplificateur opérationnel. En utilisant le principe de superposition et les techniques d'analyse de circuits, donner l'expression de la tension de sortie  $V_3$  en fonction des entrées du circuit.

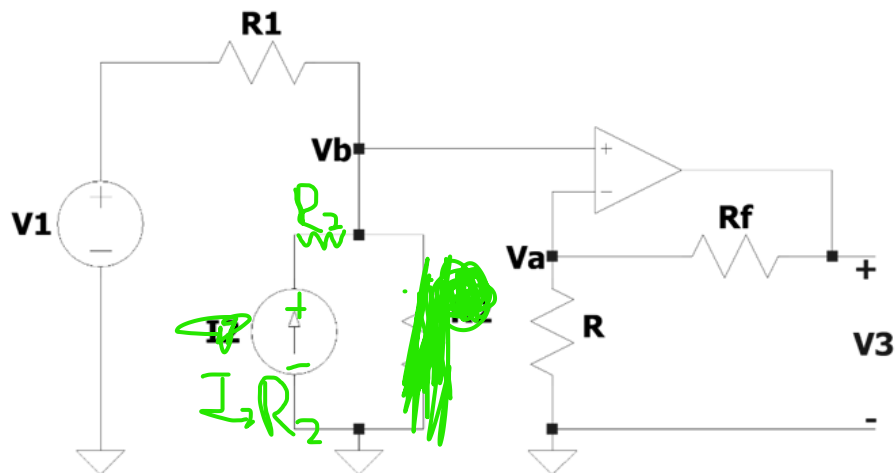


Figure 16 : Circuit de l'exercice 4, procédural 2

# 17 SOLUTION DES EXERCICES PRÉPARATOIRES

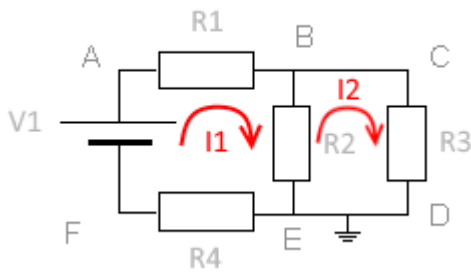
## 17.1 Procédural 1

Exercice 1 :

Mettre en équation le circuit suivant afin de trouver le courant et la tension dans  $R_1$  selon :

- a) la loi des boucles (circuit de gauche)
- b) la loi des nœuds (circuit de droite)

Équations des boucles :

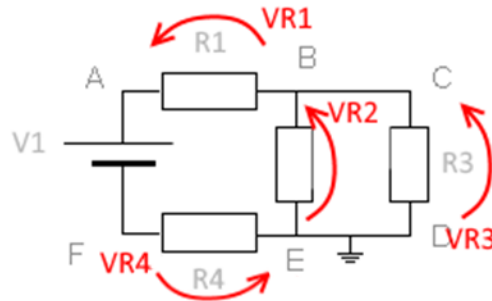


Boucle de courant 1 :

$$V_1 = V_{R1} + V_{R2} + V_{R4}$$

$$V_1 = I_1 * R_1 + (I_1 - I_2) * R_2 + I_1 * R_4$$

$$V_1 = I_1 * R_1 + \left( I_1 - \frac{I_1 * R_2}{R_2 + R_3} \right) * R_2 + I_1 * R_4$$



Boucle de courant 2 :

$$V_{R2} = V_{R3}$$

$$0 = (I_2 - I_1) * R_2 + I_2 * R_3$$

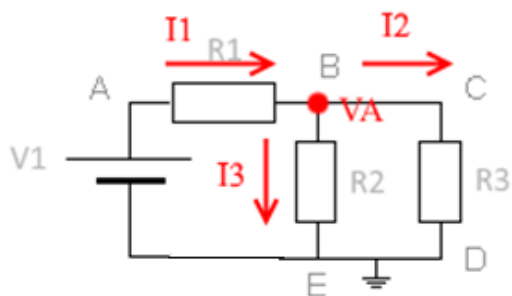
$$0 = I_2 * (R_2 + R_3) - I_1 * R_2$$

$$I_2 = \frac{I_1 * R_2}{R_2 + R_3}$$

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1 + \left( 1 - \frac{R_2}{R_2 + R_3} \right) * R_2 + R_4}$$

$$V_{R1} = I_1 * R_1$$

Équations des nœuds :



Noeud de tension VA :

$$\begin{aligned}
 I_1 &= I_2 + I_3 \\
 \frac{V_1 - V_A}{R_1} &= \frac{V_A - 0}{R_2} + \frac{V_A - 0}{R_3} \\
 \frac{V_1}{R_1} - \frac{V_A}{R_1} &= \frac{V_A}{R_2} + \frac{V_A}{R_3} \\
 \frac{V_1}{R_1} &= \frac{V_A}{R_1} + \frac{V_A}{R_2} + \frac{V_A}{R_3} \\
 \frac{V_1}{R_1} &= V_A \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \\
 V_A &= \frac{V_1}{R_1 \left( \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \right)}
 \end{aligned}$$

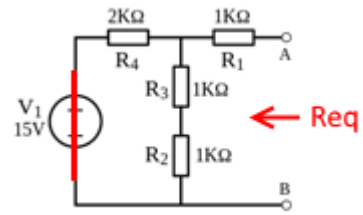
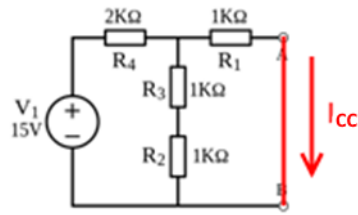
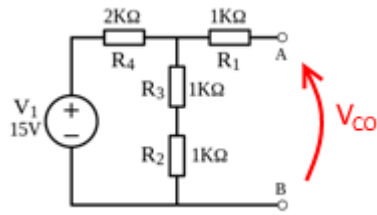
Solution :

$$\begin{aligned}
 I_1 &= I_2 + I_3 \\
 I_1 &= \frac{V_A}{R_2} + \frac{V_A}{R_3} \\
 I_1 &= \frac{\frac{V_1}{R_1 \left( \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \right)}}{\frac{R_1 \left( \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \right)}{R_2}} + \frac{\frac{V_1}{R_1 \left( \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \right)}}{\frac{R_1 \left( \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \right)}{R_3}} \\
 V_{R1} &= R_1 * I_1
 \end{aligned}$$



## Exercice 2 :

Pour le circuit ci-dessous, dessiner et calculer le circuit équivalent Thévenin et Norton entre les points A et B :



Tension en circuit ouvert :

$$V_{TH} = V_{R2} + V_{R3}$$

$$V_{TH} = \frac{V_1 * R_2 + R_3}{R_4 + R_2 + R_3}$$

$$V_{TH} = 15V \frac{2K}{4K} = 7.5V$$

Courant en court-circuit :

$$Req = R_1 \parallel (R_3 + R_2) = 666\Omega$$

$$V_{R1} = \frac{V_1 * Req}{R_4 + Req}$$

$$V_{R1} = 15 \frac{V * 666\Omega}{2.666k\Omega} = 3.75V$$

$$I_{NO} = \frac{V_{R1}}{R_1} = \frac{3.75V}{1k\Omega} = 3.75mA$$

Résistance  $R_{TH}$  ou  $R_{NO}$ :

$$Req = R_1 + ((R_2 + R_3) \parallel R_4)$$

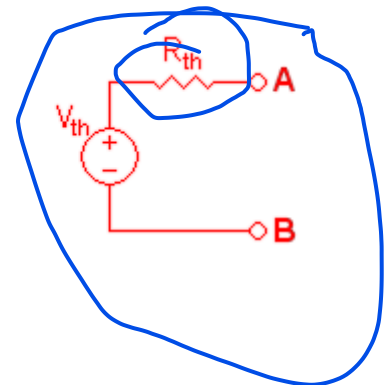
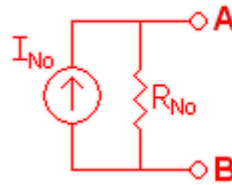
$$Req = 1k + (2k\Omega \parallel 2k\Omega)$$

$$Req = 1k + 1k = 2k\Omega$$

$$R_{TH} = R_{NO} = 2k\Omega$$

$$V_{TH} = 7.5V$$

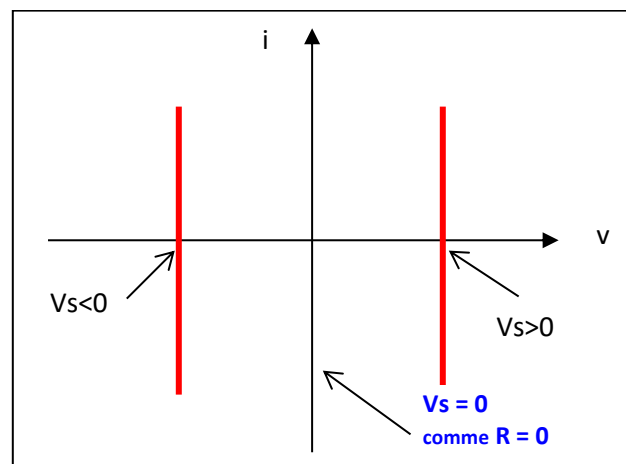
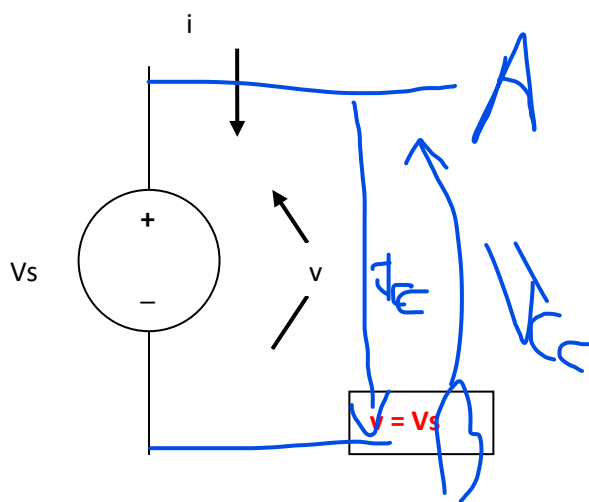
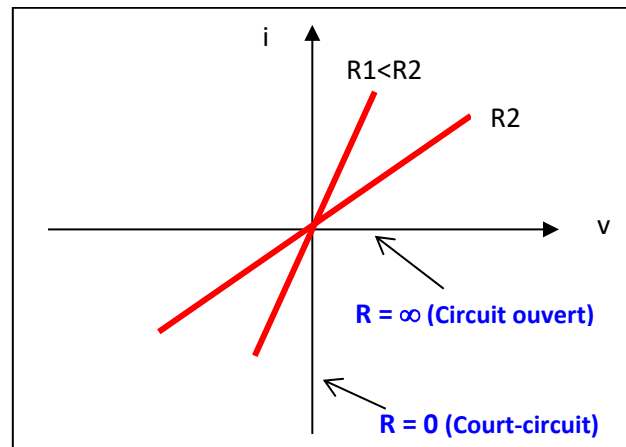
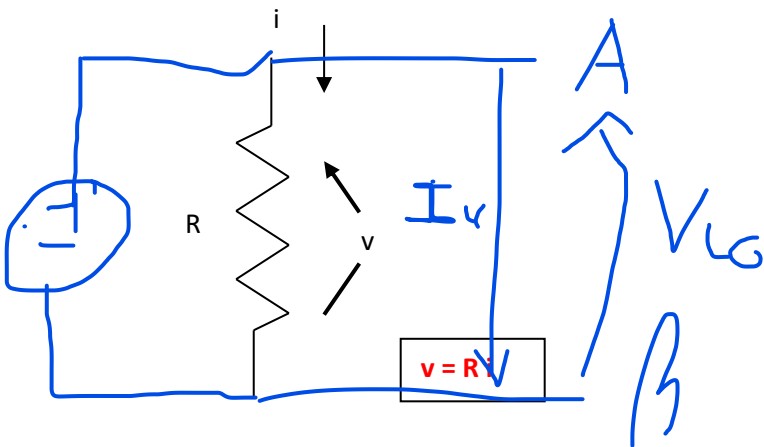
$$I_{NO} = 3.75mA$$

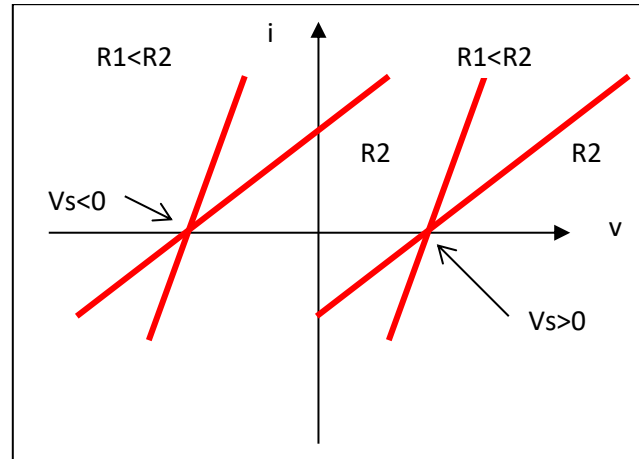
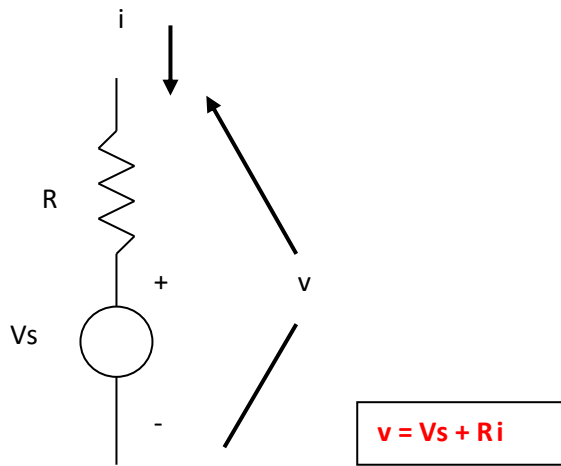


### Exercice 3 :

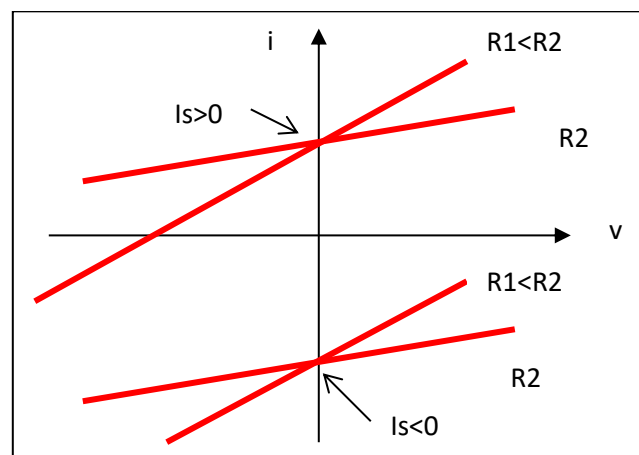
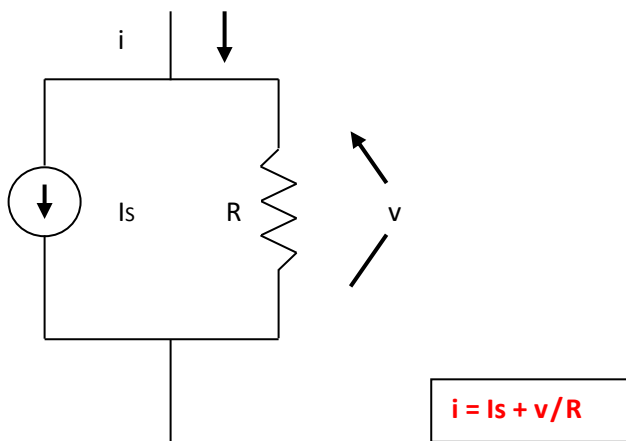
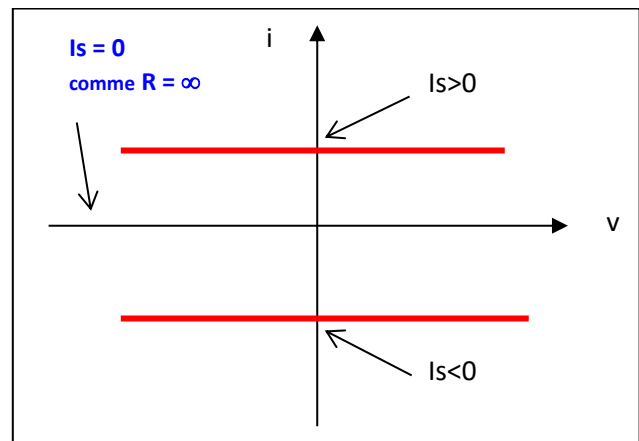
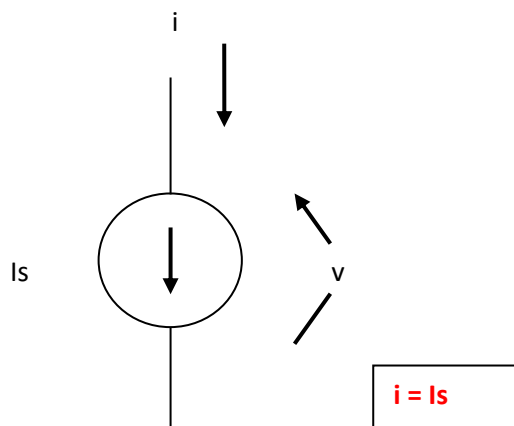
Pour chacun des dispositifs suivants, tracer le graphique de la caractéristique  $i-v$  prévalant entre les deux bornes identifiées. De plus, écrire l'équation décrivant le modèle.

Le modèle de la source de tension en série avec une résistance est composé des deux éléments pour lesquels il est possible de trouver leur modèle respectif. Ensuite, le modèle complet est la combinaison des deux éléments uniques.





Le modèle de la source de courant en parallèle avec une résistance est composé des deux éléments pour lesquels il est possible de trouver leur modèle respectif. Ensuite, le modèle complet est la combinaison des deux éléments uniques.



## 17.2 Procédural 2 :

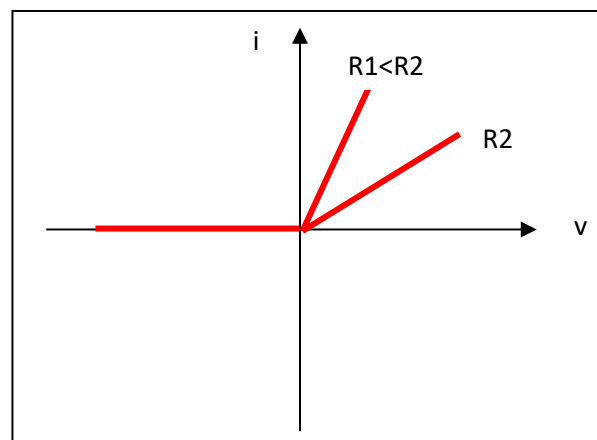
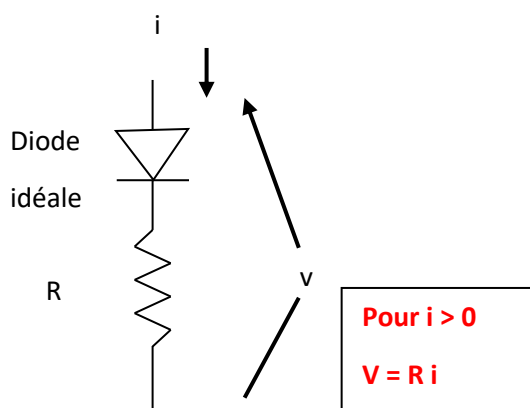
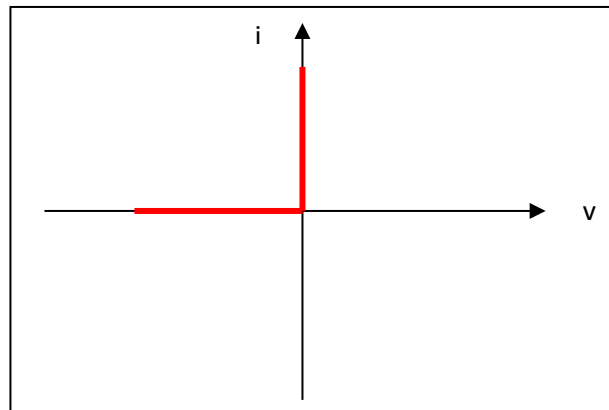
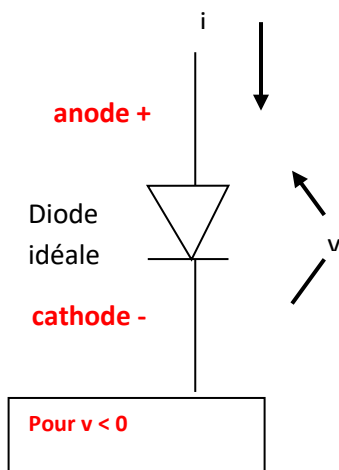
### Exercice 1 :

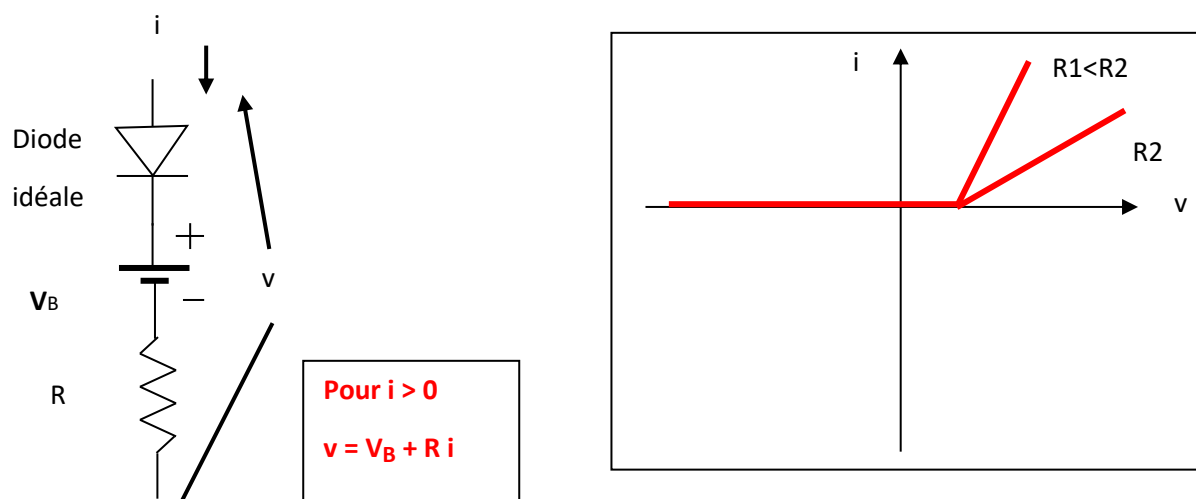
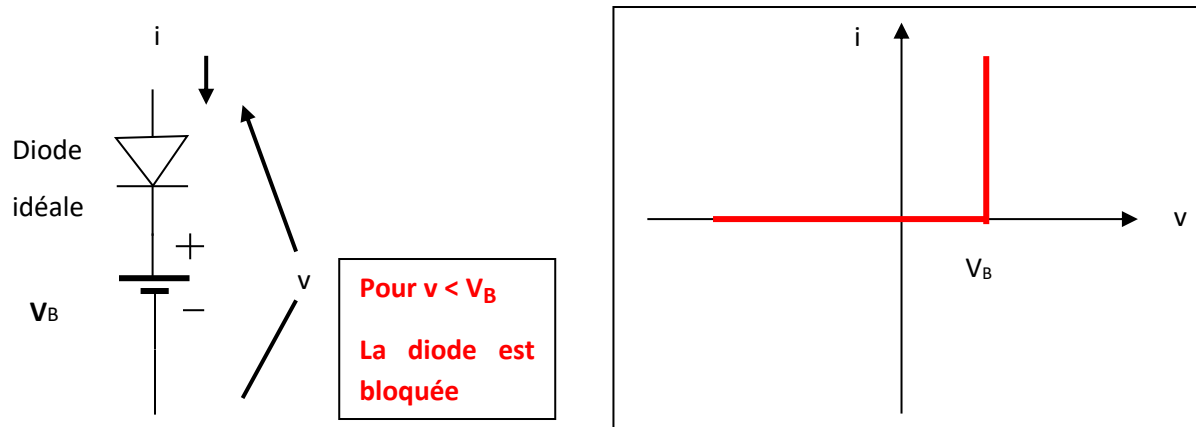
- a) Remplir le tableau résumé des caractéristiques d'un ampli-op idéal.

Gain	Infini
Impédance d'entrée	Infini
Impédance de sortie	Zéro
Différence de tension entre ses bornes d'entrées en rétroaction	Zéro

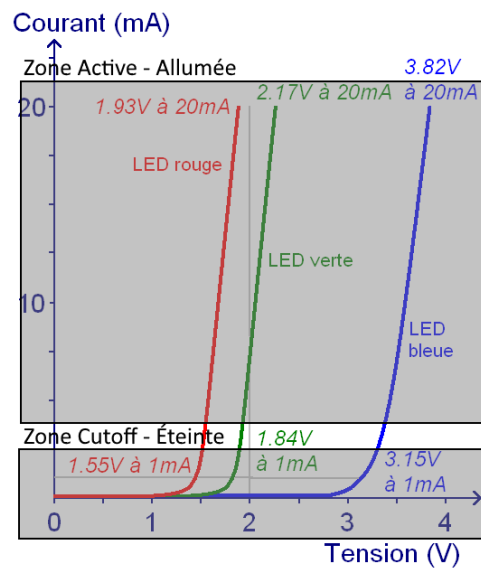
- b) Pour le dispositif suivant, tracer le graphique de la caractéristique i-v prévalant entre les deux bornes identifiées. De plus, écrire l'équation décrivant le modèle.

Le modèle de la diode est composé d'une diode idéale (laissant passer le courant dans un seul sens), d'une source de tension (correspondant à la tension de seuil à franchir pour faire conduire la diode) et d'une résistance série. Le modèle complet correspond à la combinaison des modèles individuels des composants uniques.





- c) Faire un graphique des caractéristiques  $i-v$  d'une DEL, puis identifier les régions où elle est allumée et éteinte.



## 18 LISTE DES EXERCICES RECOMMANDÉS

Les exercices suivants du Hambley sont recommandés et leur réponse est :

### Chapitre 1 :

1.11 - 3 A

113 - 2 C

1.21 - (a) Absorbe 30 W (b) Absorbe 30 W (c) Fournit 60 W

1.27 - (a) 50 W fourni par l'élément (b) 50 W fourni par l'élément  
(c) 50 W livré à l'élément

1.37 -  $i_a = -2$  A  $i_c = 1$  A  $i_d = 4$  A

1.38 -  $i_c = 1$  A  $i_e = 5$  A  $i_f = -3$  A  $i_g = -7$  A

1.42 -  $v_a = -5$  V  $v_b = -5$  V  $v_c = 10$  V

1.43 -  $v_b = 7$  V  $v_c = -1$  V  $v_d = 12$  V  $v_e = 8$  V  $v_g = 2$  V

1.44 -  $i_b = -2$  A  $i_c = 1$  A  $v_b = -6$  V  $v_c = 4$  V

$P_A = -20$  W  $P_B = 12$  W  $P_C = 4$  W  $P_D = 4$  W

1.62 -  $i_R = 2$  A. La source de tension et la résistance absorbent chacune 20 W et la source de courant délivre 40 W.

1.63 -  $i_R = 2$  A. La source de courant fournit 20W. Le courant dans la source de tension est nul, la puissance dans cette dernière est nulle.

1.64 -  $V_x = 17.5$  V

1.70 -  $v_x = 1.667$  V  $i_x = 0.5556$  A  $P_{10V} = -5.556$  W; fournit de la puissance  
 $P_{3\Omega} = 0.926$  W  $P_{5Vx} = 4.63$  W

1.74 - a)  $v_1 + v_2 = 10$  b)  $v_1 = 15i$  et  $v_2 = 5i$  c)  $i = 0.5$  A

d)  $P_{10V} = -5$  W; fournit de la puissance,  $P_{15\Omega} = 3.75$  W et  $P_{5\Omega} = 1.25$  W

### Chapitre 2:

2.1 - (a)  $20 \Omega$  (b)  $23 \Omega$

2.3 -  $R_{ab} = 10 \Omega$

2.23 -  $i_1 = 1$  A  $i_2 = 0.5$  A

2.25 -  $v = 140$  V  $i = 1$  A

2.32 -  $R = 3000 \Omega$

2.34 -  $i_1 = 1.5$  A  $i_2 = 0.5$  A

$P_{4A} = -30$  W (fournit de l'énergie)  $P_{2A} = 15$  W (absorbe de l'énergie)

$$P_{5\Omega} = 11.25 \text{ W (absorbe de l'énergie)} \quad P_{15\Omega} = 3.75 \text{ W (absorbe de l'énergie)}$$

$$2.36 - v_1 = 5 \text{ V } v_2 = 7 \text{ V } v_3 = 13 \text{ V}$$

$$2.38 - v = 3.333 \text{ V}$$

$$2.39 - i_3 = 5 \text{ mA}$$

$$2.48 - i_1 = 0.2857 \text{ A}$$

$$2.49 - v_1 = 6.67 \text{ V} \quad v_2 = -3.33 \text{ V} \quad i_s = -3.333 \text{ A}$$

$$2.56 - v_1 = 6 \text{ V } v_2 = 4 \text{ V } i_x = 0.4 \text{ A}$$

$$2.66 - v_2 = 0.5 \text{ V} \quad P = 6 \text{ W}$$

$$2.67 - i_1 = 0.2857 \text{ A}$$

$$2.77 - R_{\text{eq}} = 4.5979 \Omega$$

$$2.80 - v_t = 6.667 \text{ V} \quad i_n = 2 \text{ A} \quad R_t = R_n = 3.333 \Omega$$

$$2.82 - v_t = 12 \text{ V} \quad i_n = 2.4 \text{ A} \quad R_t = R_n = 5 \Omega$$

$$2.89 - P_{\text{max}} = 3.333 \text{ W} \quad R_L = R_t = 3.333 \Omega$$

$$2.95 - i_s = -3.33 \text{ A}$$

$$2.96 - i_{1,1A} = 0.5714 \text{ A} \quad i_{1,2A} = -0.2857 \text{ A} \quad i_1 = 0.2857 \text{ A}$$

$$2.97 - i_1 = 1.5 \text{ A}$$

## Chapitre 9 :

$$9.16 - v_x = 2.2 \text{ V} \quad i_x = 0.8 \text{ A}$$

## Chapitre 10 :

$$10.4 - R_{\text{in}} = 1 \text{ M}\Omega$$

$$10.6 - A_V = 50 \quad A_{VS} = 33.33 \quad A_i = 1.25 \text{ E } 6 \quad G = A_V A_i = 62.5 \text{ E } 6$$

$$10.9 - R_o = 2.5 \text{ K}\Omega$$

$$10.12 - A_{VS} = 0.303 \quad V_o = 1.52 \text{ mV rms} \quad P_o = 45.9 \text{ mW}$$

$$V_o = 2.5 \text{ mV rms} \quad P_o = 125 \text{ E-9 W}$$

## Chapitre 13 :

$$13.1 \quad \text{Voir les 5 caractéristiques d'un ampli op idéal aux pages 647-648}$$

$$13.3 \quad v_{id} = (v_1 - v_2) \quad v_{icm} = (v_1 + v_2) / 2$$

$$13.7 \quad \text{Voir p. 648}$$

$$13.11 \quad A_v = -3$$

$$13.24a \quad v_o = -R_f i_{in}$$