

Rapport de laboratoire

Ecole supérieure
Électronique

Laboratoire ELAN
Salle R112

Transistor en émetteur suiveur

Réalisé par :

Samuel Villard
Bilal Zitouni

A l'attention de :

Philippe Bovey
Juan José Moreno

Dates :

Début du laboratoire : 6 octobre 2025
Fin du laboratoire : 10 novembre 2025

Table des matières :

Transistor en émetteur suiveur	1
1 Cahier des charges.....	5
1.1 Rappel théorique.....	5
1.1.1 BC337C	5
1.1.2 Montage émetteur-suiveur	5
2 Analyse et simulation	6
2.1 Schéma variation V_{BE}	6
2.2 Mesures Pour calculs.....	6
2.3 Dimensionnement R1 et R2	6
2.3.1 Schéma théorique	7
2.3.2 Schéma équivalent Thévenin.....	7
2.4 Calcule des résistances	8
3 Simulation	9
3.1 Schéma variation de charge	9
3.2 Méthode de mesure avec Rch	9
3.2.1 Mesures de la simulation	9
3.2.1.1 Alimentation 12V :	9
3.2.1.2 Alimentation 13V :	10
3.3 Méthode de mesure avec un générateur de courant	11
3.3.1 Schéma de mesure.....	11
3.3.1.1 Alimentation 12V	12
3.3.1.2 Alimentation 13V :	12
4 Montage sur plaque d'essai	13
4.1 Méthode de mesure	13
4.2 Liste de matériel.....	13
4.3 Schéma de mesure	13
4.4 Résultat des mesures	13
4.4.1 Avec dimensionnement par rapport à la théorie.....	14
4.4.1.1 Alimentation 12V, R1 910Ω et R2 750Ω	14
4.4.1.2 Alimentation 13V, R1 910Ω et R2 750Ω	15
4.4.2 Avec dimensionnement par rapport à la simulation	16
4.4.2.1 Alimentation 12V, R1 1KΩ et R2 830Ω	16
4.4.2.2 Alimentation 13V, R1 1KΩ et R2 830Ω	16
4.4.3 Tableau comparatif des deux approches	17
5 Comparatif entre mesure et simulation	18
6 Conclusion	18
7 Annexe.....	19
7.1 Détail du calcul.....	19
7.2 Liste des composants	19

1 Cahier des charges

Dans le cadre de ce travail pratique, Nous allons étudier un montage émetteur suiveur, Nous procéderons par une approche théorique, à l'aide de calcule, nous dimensionnerons nos résistances. Enfin Nous comparerons les valeurs obtenues par calcul, par simulation et par mesures pratique.

1.1 Rappel théorique

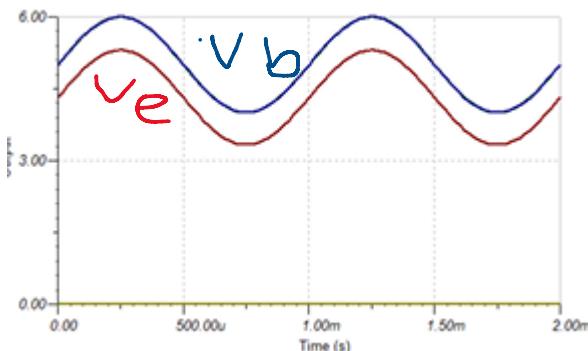
1.1.1 BC337C

Le transistor que nous utilisons pour ce TP est un transistor bipolaire NPN, il est souvent utilisé comme interrupteur commandé ou amplificateur de courant. Avec un petit courant appliqué sur la base I_b ce composant peut contrôler un courant passant par son collecteur et son émetteur beaucoup plus important.

1.1.2 Montage émetteur-suiveur

Le montage émetteur suiveur utilise le transistor BC337C comme un adaptateur d'impédance. Son rôle principal est de garantir que la tension de sortie V_e reproduit le même signal que la tension d'entrée V_b comme vue dans le support de cours ([ELAN-Ch2_Transistors \(v1.8\).pdf](#)) à la page 8.

Grace au gain en courant β , l'impédance de charge est amplifiée, ce qui permet au montage d'avoir une haute impédance d'entrée et une basse impédance à la sortie. Cela est important afin de ne pas déformer le signal.



2 Analyse et simulation

2.1 Schéma variation V_{BE}

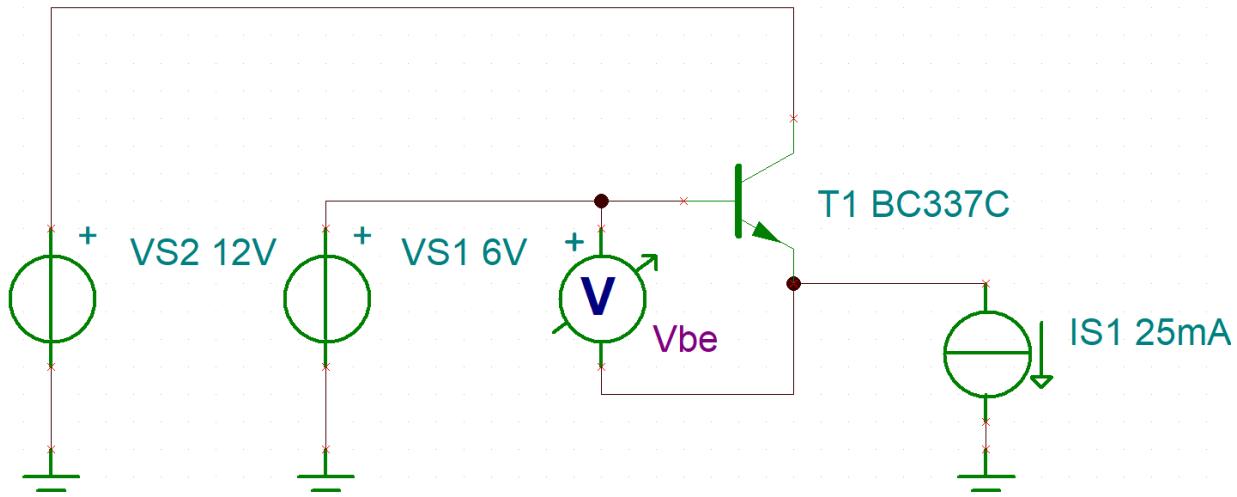


Figure 1 schéma de base

2.2 Mesures Pour calculs

Vbe	Mesure	Unité
Min	641,5	[mV]
Max	668,3	[mV]

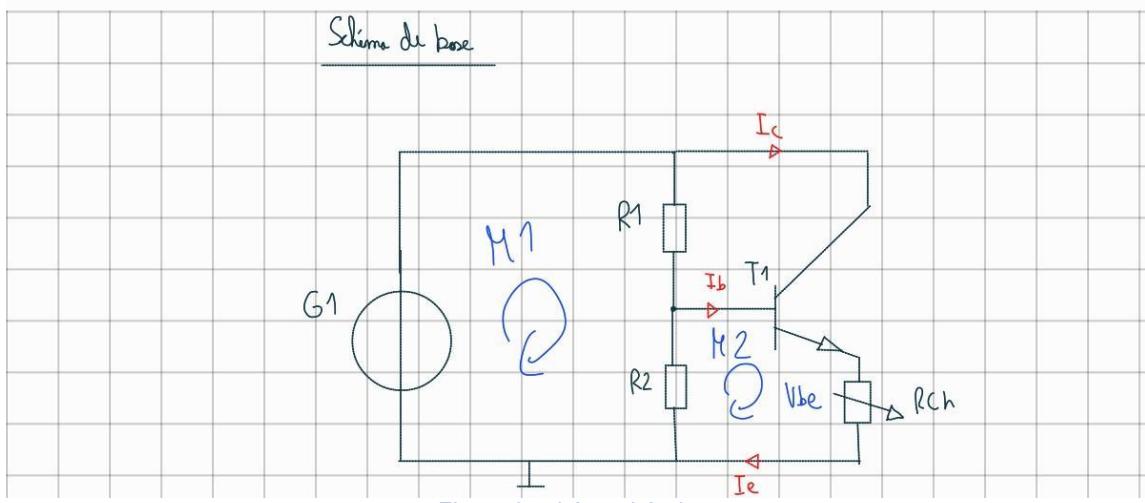
Afin de procéder à nos calculs nous avons simuler le montage sur Tina afin de trouver quel est la valeur du V_{BE} . Nous avons fait varier le courant d'émetteur le entre 10 mA et 25 mA.

2.3 Dimensionnement R1 et R2

Nous allons expliquer les démarches utilisées pour calculer les résistance R_1 et R_2 avec les valeurs donnée. Nous étudierons deux cas un worst case et un best case le détail des calcules sera présenté dans un fichier annexe.

	VCC [V]	Vout [V]	Ie [mA]
Worst case	12	4.75	25
Best case	13	5.25	10

2.3.1 Schéma théorique



Nous sommes parties sur le schéma de base, et nous avons posé les équations de la maille 1 et 2, nous obtenons donc :

$$M1 = VCC - UR1 - UR2 = 0$$

$$M2 = UR2 - Vbe - URCH = 0$$

Nous allons aussi établir le courant Ib

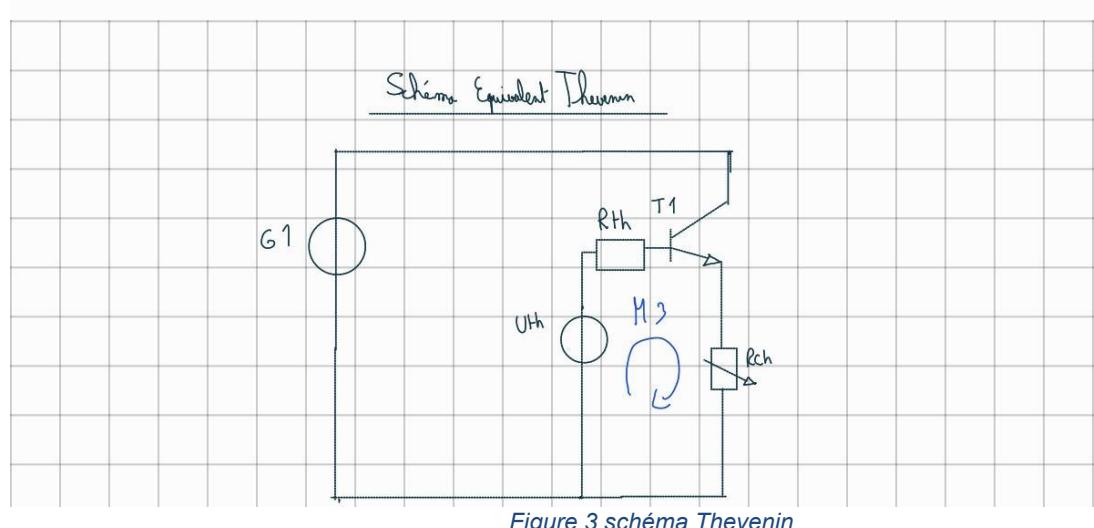
$$Ie = Ib + IC$$

$$Ie = Ib(\beta + 1)$$

$$Ib = \frac{Ie}{\beta + 1}$$

Nous allons passer par un schéma équivalent de Thevenin pour obtenir un rapport fixe de résistance avec nos cas (worst case et best case)

2.3.2 Schéma équivalent Thévenin



Avec le schéma de Thevenin nous obtenons les données suivantes :

$$Vth = VCC * \frac{R2}{R1 + R2}$$

$$Rth = R1 * \frac{R2}{R1 + R2}$$

Pour simplifier les calculs nous allons inclure le rapport $\frac{R2}{R1+R2}$ à la variable A

$$V_b = V_{out} + V_{be}$$

$$V_b = V_{th} - R_{th} * I_b = V_{out} + V_{be}$$

2.4 Calcule des résistances

Pour cette partie nous allons brièvement expliquer nos calcule pour trouver la valeur de R1 et R2 le détail de ces calcules sera mis en annexe dans le document (calcule des résistances avec détail).

Par la loi de Thévenin et avec la loi des mailles nous nous retrouvons avec un système de deux équations

$$1: V_{CCmin} * A - R1 * A * \frac{I_{emax}}{\beta + 1} = V_{outmin} + V_{be}$$

$$2: V_{CCmax} * A - R1 * A * \frac{I_{emin}}{\beta + 1} = V_{outmax} + V_{be}$$

En isolant A et en égalisant c'est deux cas je peux trouver la valeur de R1 (voir détail en annexe)

$$A = \frac{872}{1920 - R1 * 25 * 10^{-3}} = \frac{952}{2080 - R1 * 10^{-2}}$$

Pour R1 nous avons calculer une valeur de $933.69\Omega \Rightarrow 910$ en série E24

Pour R2 je réutilise l'un de mes deux cas pour trouver sa valeur.

$$A = \frac{R2}{R1 + R2} = \frac{952}{2080 - R1 * 10^{-2}}$$

Nous obtenons donc.

$R2 = 794\Omega \Rightarrow 750$ en série E24

3 Simulation

3.1 Schéma variation de charge

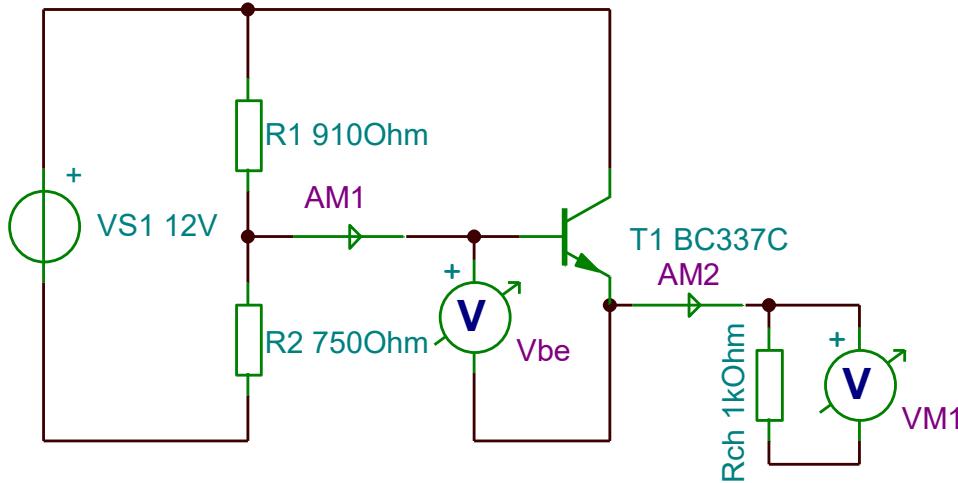
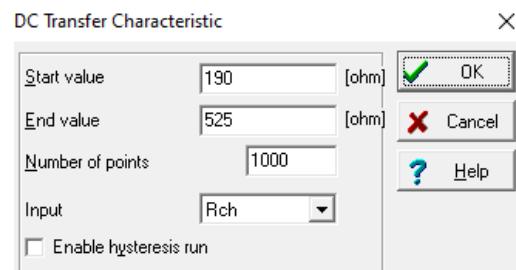


Figure 4 schéma de simulation variation de charge

3.2 Méthode de mesure avec Rch

Notre résistance de charge Rch va simuler un générateur de courant par l'application de la loi d'Ohm. Il n'est pas nécessaire de tenir compte de la valeur de Rch indiqué sur le schéma, car la simulation est réalisée en utilisant la fonctionnalité « DC Transfer Characteristic ». Celle-ci nous permet de faire varier la valeur de cette résistance afin d'obtenir une courbe en fonction de Rch.

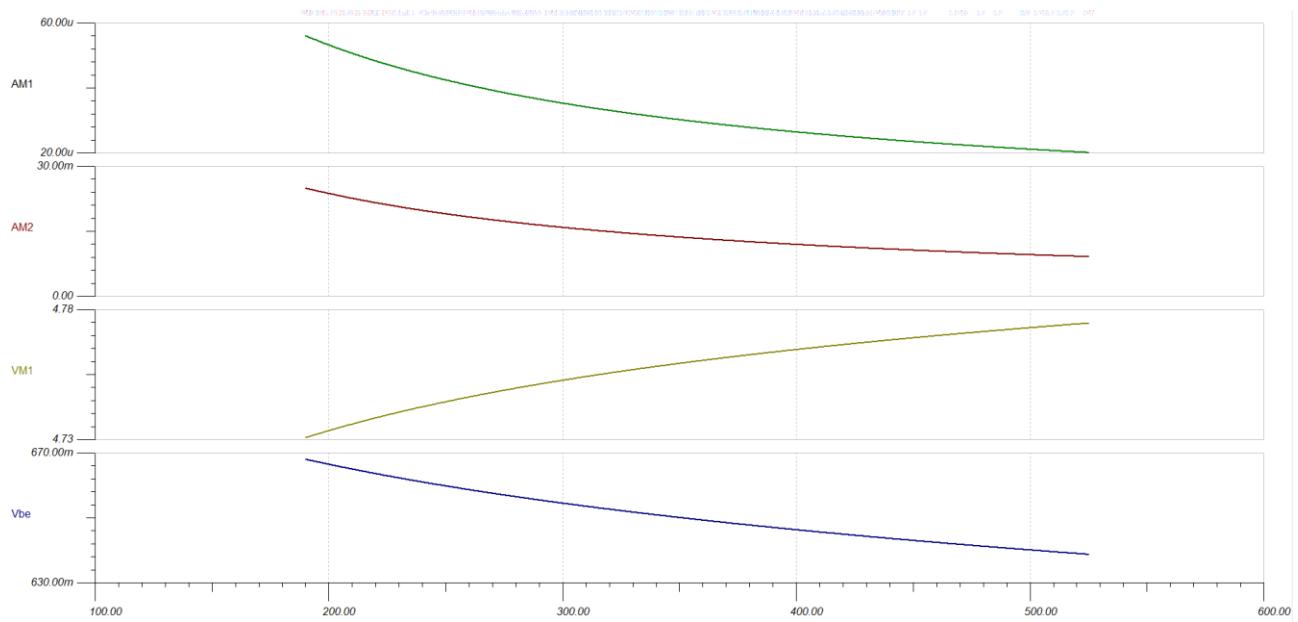


3.2.1 Mesures de la simulation

3.2.1.1 Alimentation 12V :

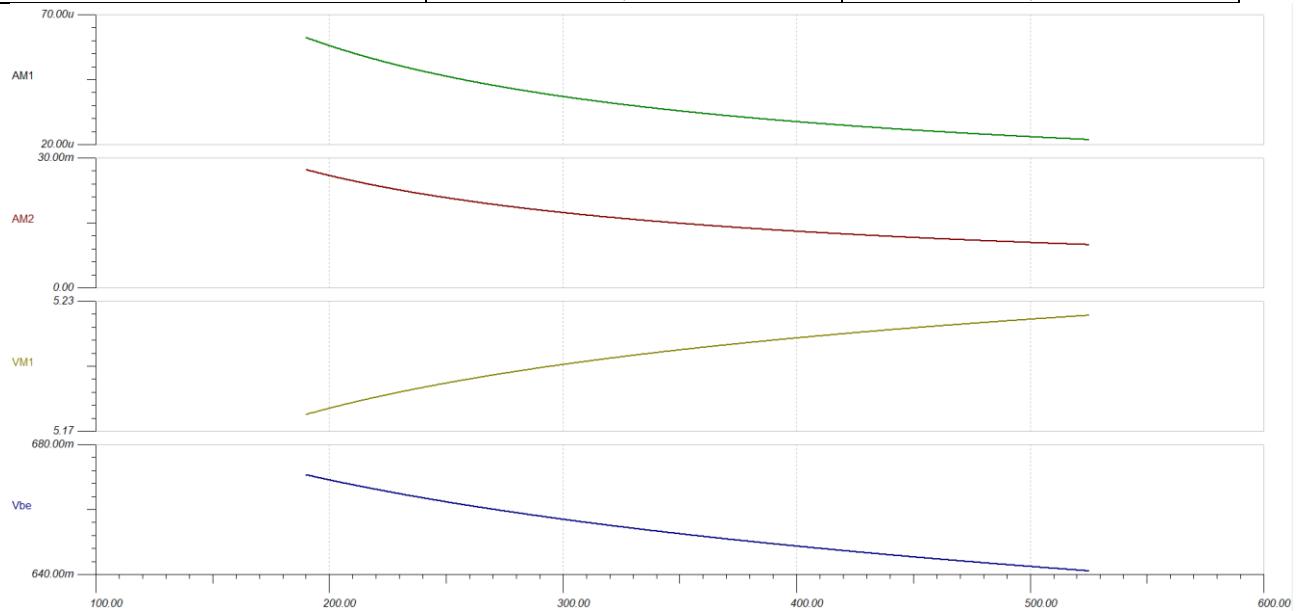
Figure 5 configuration

Rch[Ω]	Uout[V]	Iout[mA]
190	4,73	24,9
225	4,74	21,06
260	4,75	18,26
295	4,75	16,11
330	4,76	14,41
365	4,76	13,04
400	4,76	11,91
435	4,77	10,96
470	4,77	10,15
505	4,77	9,45
525	4,77	9,09

Figure 6 Courbe de I_{out} et U_{out} en fonction de R_{ch}

3.2.1.2 Alimentation 13V :

$R_{ch}[\Omega]$	$U_{out}[V]$	$I_{out}[mA]$
190	5,18	27,25
225	5,19	23,05
260	5,19	19,98
295	5,2	17,63
330	5,2	15,77
365	5,21	14,27
400	5,21	13,03
435	5,22	11,99
470	5,22	11,1
505	5,22	10,34
525	5,22	9,95

Figure 7 Courbe de I_{out} et U_{out} en fonction de R_{ch}

Observation : Lors de la simulation, Nous avons constaté que le HFE (gain en courant continu ou β) varie en fonction de la tension d'entrée V_{in} et du courant de sortie I_{out} . Etant donné que le HFE n'est pas constant, et que nos calculs ont été effectués en utilisant une valeur fixe, les résultats de la simulation ne sont pas nécessairement exacts. Toutefois, pour un montage réel, le HFE dont la valeur est donnée par fabricant dans le datasheet, est considéré comme stable, cela devrait nous permettre d'obtenir des valeurs plus cohérentes avec la spécification théorique.

Nous observons que lorsque la résistance de charge R_{ch} augmente le courant de sortie I_{out} diminue, tandis que la tension de sortie U_{out} augmente. Ce comportement est cohérent avec la loi d'Ohm, notamment dans un circuit où la chute de tension interne est faible. Si le courant I_{out} diminue, la tension U_{out} augmente.

Cependant, il est important de noter que pour une alimentation de 12V, la tension de sortie U_{out} atteint 4.73V lors des premières mesures. Cette valeur se situe juste en dessous de la plage requise.

3.3 Méthode de mesure avec un générateur de courant

Nous allons également employer une seconde méthode de mesure, cette fois en utilisant un générateur de courant. Grâce à l'option DC (situé sur la barre d'outils supérieure), il est possible de visualiser en temps réel les valeurs fournies par nos instruments de mesure. Nous pourrons ainsi modifier le courant d'émetteur le correspondant au générateur sur notre schéma et relever les valeurs mesurées.

Nous avons également adapté les résistances R_1 et R_2 pour garantir une tension de sortie V_{out} dans la plage de spécifications de 4.75V à 5.25V

3.3.1 Schéma de mesure

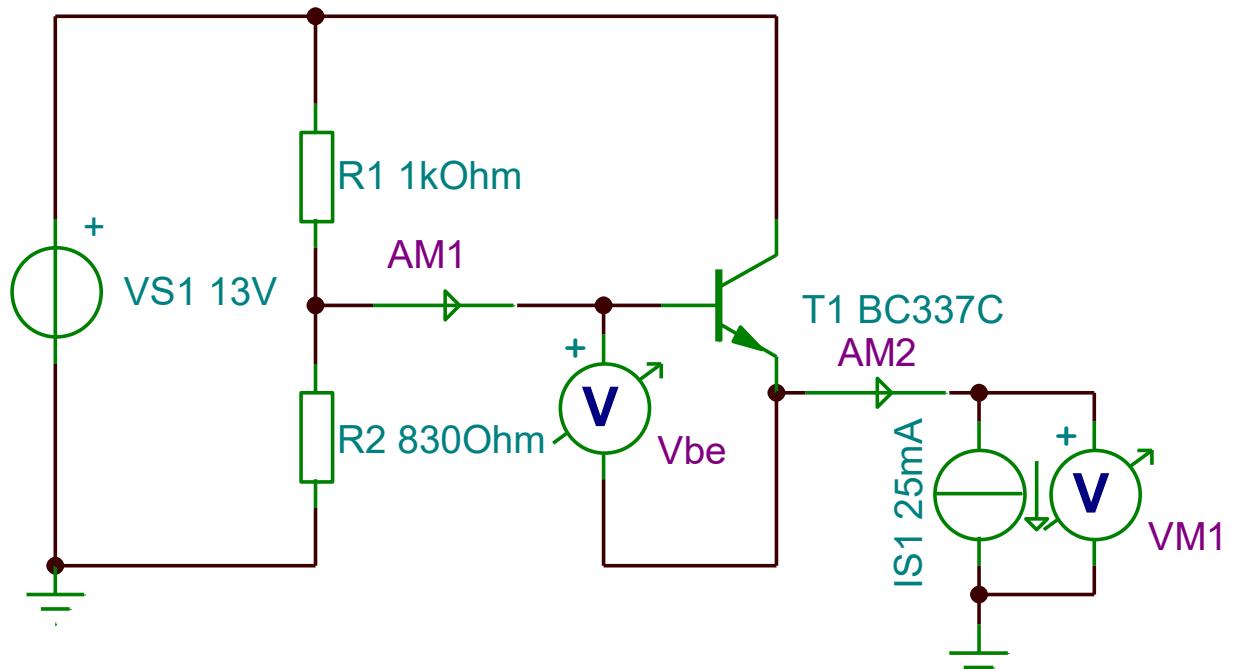


Figure 8 schéma de simulation avec générateur de courant

3.3.1.1 Alimentation 12V

Uout[V]	Iout[mA]
4.75	25
4.75	22.5
4.76	20
4.77	17.5
4.77	15
4.78	12.5
4.79	10
4.8	7.5
4.82	5
4.84	2.5
11.98	0

3.3.1.2 Alimentation 13V :

Uout[V]	Iout[mA]
5.2	25
5.21	22.5
5.21	20
5.22	17.5
5.23	15
5.24	12.5
5.25	10
5.26	7.5
5.27	5
5.29	2.5
12.98	0

Observation : Nous avons bien sûr obtenue des valeurs différentes par cette méthode, car le courant d'émetteur le a été fixé et qu'aucune résistance de charge a été utilisée. Par conséquent, il n'est pas pertinent de comparer ces mesures avec celle obtenues par la méthode précédente. Néanmoins, pour les courants allant de 25mA à 10mA, les tensions mesurées Uout restent dans la plage de spécification demandée.

4 Montage sur plaque d'essai

4.1 Méthode de mesure

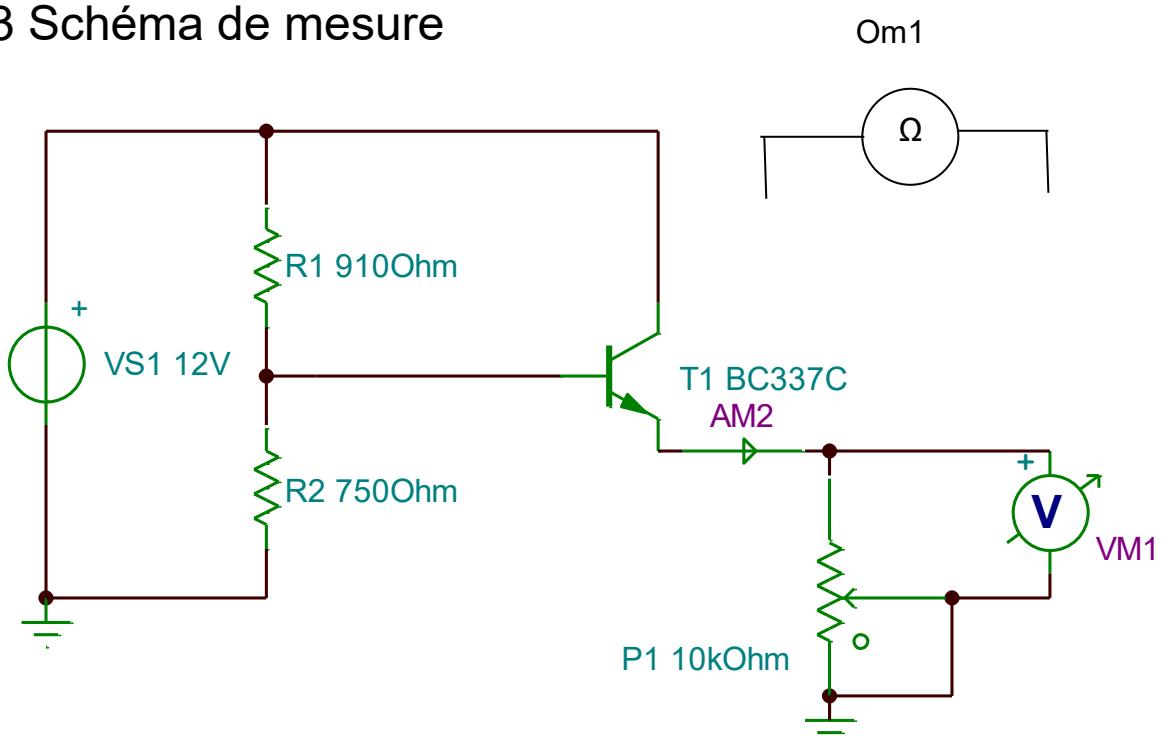
Pour les mesures, nous allons faire varier la résistance du potentiomètre P1 afin d'obtenir l'intensité I_{out} (le) recherché. Par la suite nous pouvons relever la valeur de U_{out} (V_e), pour mesurer la résistance de charge il est important de débrancher le potentiomètre car sa mesure doit s'effectuer hors tension.

4.2 Liste de matériel

Dénomination	Marque	Type	Caractéristique	N° place
OM1	Gwinstek	GMD-396	Ohmmètre	R112-05
VM1	Gwinstek	GMD-396	Voltmètre	R112-05
AM2	Gwinstek	GMD-396	Ampèremètre	R112-05
VS1	Gwinstek	GPC-3000	Alimentation	R122-05

*liste des composants en annexe

4.3 Schéma de mesure



4.4 Résultat des mesures

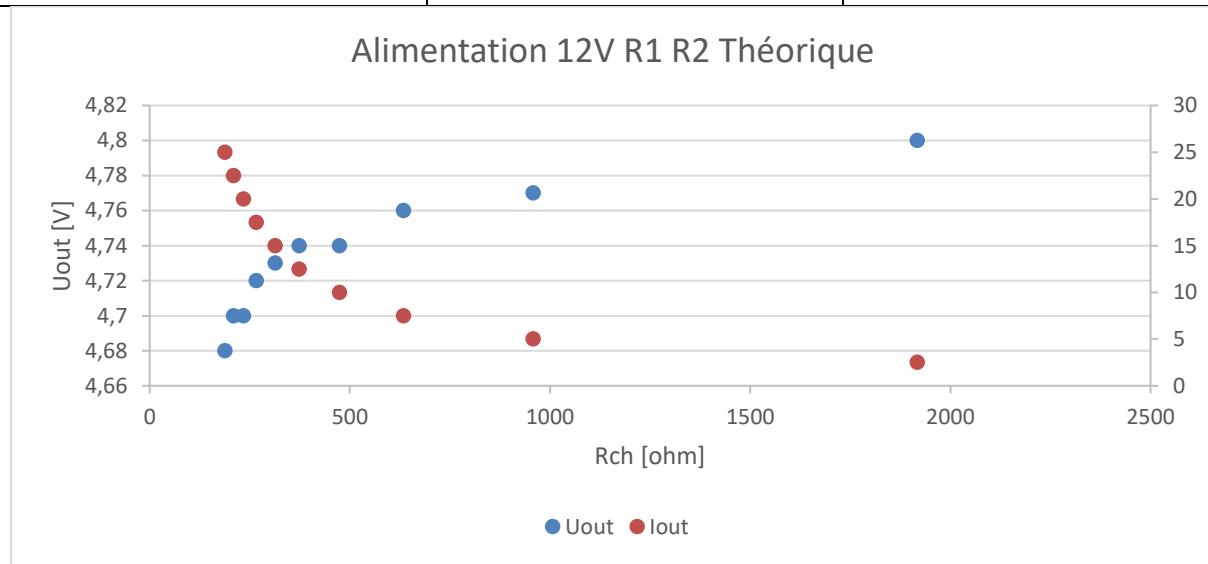
Nous allons relever les mesures de la tension et de la résistance de charge avec un courant allant de 0 à 25mA.

Les mesures seront prises deux fois, une fois pour les résistances calculées par l'approche théorique et une autre pour les résistances que nous avons adaptées avec la simulation.

4.4.1 Avec dimensionnement par rapport à la théorie

4.4.1.1 Alimentation 12V, R1 910Ω et R2 750Ω

Rch[Ω]	Uout[V]	Iout[mA]
188	4.68	25
209	4.70	22.5
234	4.70	20
266	4.72	17.5
313	4.73	15
373	4.74	12.5
474	4.74	10
634	4.76	7.5
958	4.77	5
1917	4.80	2.5
C.C	6.04	0



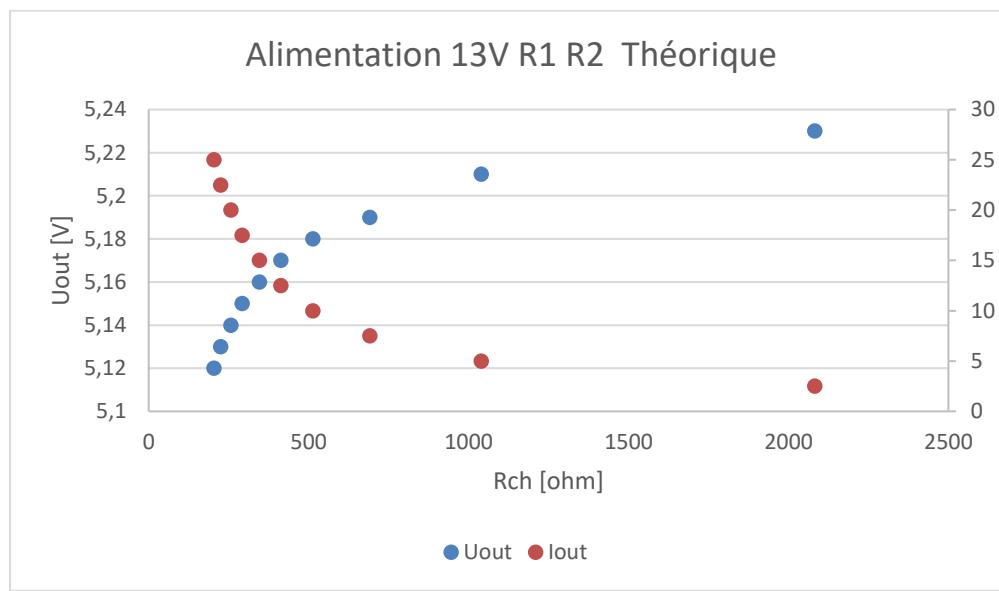
Observation : Comme pour la simulation, nous remarquons que lorsque nous augmentant la résistance Rch, l'intensité Iout (le) diminue en revanche la tension de sortie Uout augmente. Cette augmentation est dû à la diminution de la tension Vbe causé par la baisse du courant le ($Uout=Vb-Vbe$).

Pour le cas limite où Iout est nul, Nous obtenons une tension maximale de 6.04 V. Etant donné que notre circuit est alimenté en 12 V, cette valeur correspond très probablement à la tension de la base (Vb), car l'absence de courant fait tendre Uout vers Vb.

Pour la plupart des valeurs relevées nous sommes en dessous des 4.75 V minimum demandé.

4.4.1.2 Alimentation 13V, R1 910Ω et R2 750Ω

Rch[Ω]	Uout[V]	Iout[mA]
204	5.12	25
225	5.13	22.5
257	5.14	20
292	5.15	17.5
346	5.16	15
413	5.17	12.5
513	5.18	10
691	5.19	7.5
1040	5.21	5
2082	5.23	2.5
C.C	6.39	0



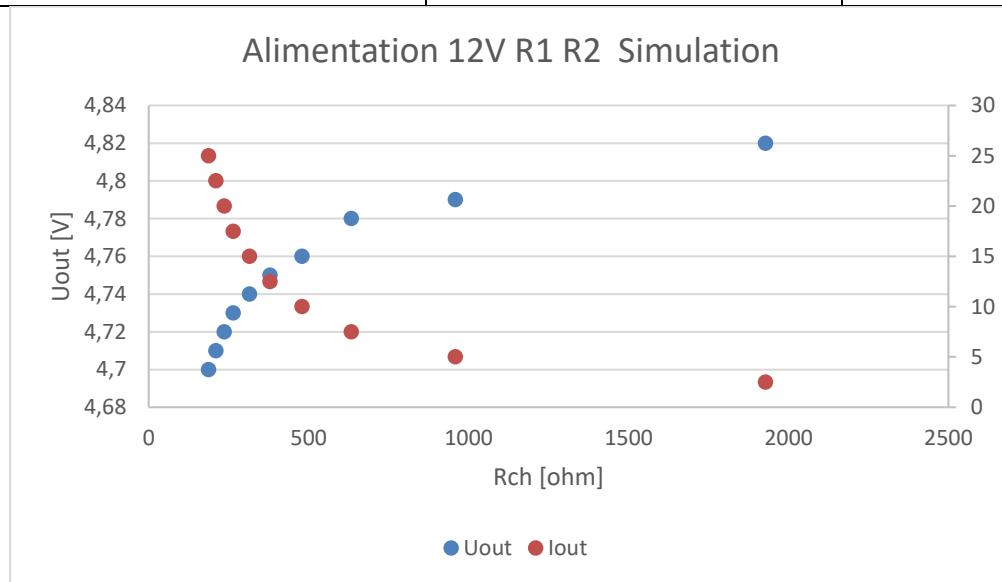
Observation : la modification de l'alimentation de 12 à 13 V, a pour effet de décaler les tensions de Uout vers des valeurs un peu plus élevées. La tension maximal Uout (Pour un Iout (le) nul) est passé de 6.04 à 6.39 V, ce qui confirme l'augmentation de la tension Vb par rapport à l'augmentation de Vcc

Avec ces mesures (sauf pour le cas où (le) est nul), nous nous situons dans la plage de tension de sortie demandé, entre 4.75V et 5.25V.

4.4.2 Avec dimensionnement par rapport à la simulation

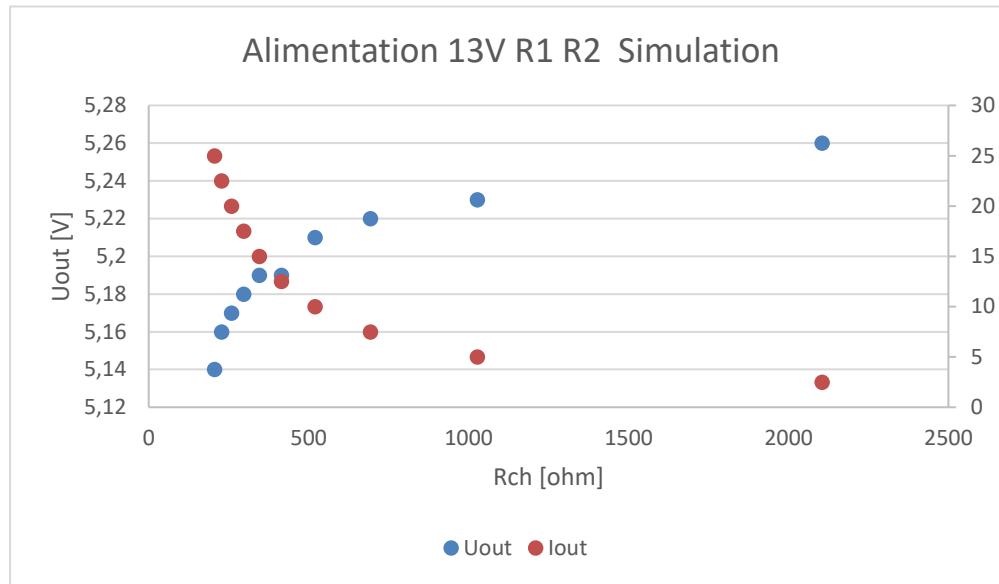
4.4.2.1 Alimentation 12V, R1 1KΩ et R2 830Ω

Rch[Ω]	Uout[V]	Iout[mA]
187	4.70	25
210	4.71	22.5
236	4.72	20
264	4.73	17.5
315	4.74	15
379	4.75	12.5
479	4.76	10
633	4.78	7.5
958	4.79	5
1928	4.82	2.5
C.C	6.14	0



4.4.2.2 Alimentation 13V, R1 1KΩ et R2 830Ω

Rch[Ω]	Uout[V]	Iout[mA]
206	5.14	25
228	5.16	22.5
259	5.17	20
297	5.18	17.5
346	5.19	15
415	5.19	12.5
520	5.21	10
693	5.22	7.5
1028	5.23	5
2105	5.26	2.5
C.C	6.43	0



Observation : Comme observer précédemment nous voyant l'impact de VCC sur Uout. Cependant, l'ajustement des résistances R1 et R2 ont permis de nous rapprocher des tensions de sortie demandé, entre 4.75 V et 5.25 V.

4.4.3 Tableau comparatif des deux approches

Cette section compare nos deux versions de mesure avec les résultats obtenus par le dimensionnement théorique par calcul et l'adaptation des résistances par simulation. Nous analysons les écarts observés entre les valeurs minimales et maximales du courant afin d'avoir une idée claire et synthétique des différences entre ces approches.

@12V	Selon calcul théorique		Selon la simulation	
	Valeur limite [mA]	Résistance de charge [Ω]	Uout [V]	Résistance de charge [Ω]
10	474	4,74	479	4,76
25	188	4,68	187	4,7

@13V	Selon calcul théorique		Selon la simulation	
	Valeur limite [mA]	Résistance de charge [Ω]	Uout [V]	Résistance de charge [Ω]
10	513	5,18	520	5,21
25	204	5,12	206	5,14

Nous constatons que les résultats de la simulation présentes des valeurs qui respectent mieux les spécifications de la donnée. Cela s'explique par le fait que, pour nos calculs théorique, nous avons utilisé un H_{FE} (β) minimal donnée selon le datasheet du fabricant. La valeur réelle du β Probablement supérieure, cela cause un décalage de quelques millivolts lorsque VCC est à 12V pour notre analyse théorique (atteignant jusqu'à 7mV de différence avec la valeur minimale).

5 Comparatif entre mesure et simulation

Pour notre comparatif, nous avons choisi de nous concentrer sur les deux valeurs extrêmes du courant (Iout minimal et maximal). Cette approche permet d'obtenir une vision claire et synthétique des différences entre les méthodes, notamment en évaluant les écarts sur les valeurs limites du montage, là où un dépassement pourrait critiquer par rapport au spécification demandé.

@12V	Simulation		Mesure	
	Val.Théorique	Val.Simulation	Val.Théorique	Val.Simulation
Uout@10mA	4,77	4,79	4,74	4,76
Uout@25mA	4,73	4,75	4,68	4,7

@13V	Simulation		Mesure	
	Val.Théorique	Val.Simulation	Val.Théorique	Val.Simulation
Uout@10mA	5,22	5,25	5,18	5,24
Uout@25mA	5,19	5,2	5,12	5,21

Entre simulation et pratique, Nous constatons que le dimensionnement obtenu par simulation sont légèrement meilleures à celle trouvées lors de du calcul. L'écart le plus significatif est observé avec les résistances (R1 et R2) théorique sous 13V et 25mA, où l'erreur réelle atteint 7 mV.

$$\text{Erreur relatif} = \frac{\text{Erreur réelle}}{\text{Valeur théorique}} * 100 = \frac{70 * 10^{-3}}{5,19} * 100 = 1,349\%$$

Cette erreur peut largement être justifiée par le fait que le β réel de notre transistor n'est pas équivalent au β_{mon} que nous avons utilisé pour nos calculs théoriques.

6 Conclusion

Au terme de ce travail pratique, nous avons étudié un montage émetteur suiveur et dimensionné celui-ci par l'approche théorique, en utilisant la méthode de Thévenin afin de calculer les résistances du pont diviseur en utilisant $H_{FE}(\beta)$ minimum (worst case) donnée par le datasheet du fabricant.

Nous avons ensuite simulé notre montage et relevé les valeurs selon deux méthodes : l'une en faisant varier la résistance de charge, et l'autre en utilisant un générateur de courant pour imposer la valeur de I_{out} (I_e). Nous avons également pour cette deuxième méthode recalibré les résistances du pont diviseurs pour que la tension de sortie (U_{out}) reste dans la plage de spécification demandée, et nous avons expliqué l'impact de ces ajustements.

Finalement, nous avons relevé les valeurs des deux versions du montage sur une plaque d'essai. La comparaison entre les valeurs simulées et les valeurs mesurées nous a permis de déterminer les erreurs relatives entre les deux approches. Les résultats ont clairement indiqué que la version du montage obtenu grâce à la simulation donne de meilleurs résultats.

7 Annexe

7.1 Détail du calcul



Détail des calculs pour valeurs de résistances

7.2 Liste des composants

Désignation	Marque	Modèle	Valeur
R1	-	-	910Ω/1KΩ
R2	-	-	750Ω/830Ω
Rch	-	-	10KΩ
T1	Onsemi	BC337C	-