

## 1. Estimation de la résistance source-drain par cartographie des champs

- i. Les esquisses présentées en annexe illustrent différentes cartographies des champs de la région conductrice du transistor JFET. Les lignes pleines qu'on y retrouve représentent les lignes équipotentielles tandis que les lignes pointillées représentent les lignes de courant. En effet, il est logique que les lignes pointillées soient les lignes de courant puisqu'elles vont d'une surface conductrice (source) vers une autre surface conductrice (drain). Finalement, les lignes équipotentielles sont toujours perpendiculaires aux lignes de courant. On en déduit donc que celles-ci correspondent aux lignes pleines.
- ii. Parmi les quatre esquisses présentées en annexe, on peut tout de suite en déduire que les esquisses A et D ne sont pas les plus optimales. En effet, celles-ci ne présentent que 30 lignes équipotentielles contrairement aux esquisses B et C qui en présentent 60, soit le double. Déjà là, on sait que les esquisses B et C sont plus précises que A et D. Ensuite, on sait que la précision de la résistance  $R$ , entre la source et le drain, augmente lorsqu'on augmente le nombre de cellules. En comparant les esquisses B et C, on s'aperçoit que l'esquisse B présente 17 lignes de courant alors qu'en C, on n'en a que 8. Ainsi, l'esquisse B, ayant le plus grand nombre de cellules, est sans doute celle qui cartographie le plus fidèlement et le plus précisément le champ dans la région conductrice du transistor.

Nous avons évalué pendant un certain temps laquelle des esquisses cartographiques entre la B et C serait la plus appropriée. Nous avons, à la fin de notre travail, évalué la résistance  $R_1$  que nous aurions obtenues en utilisant le décompte des lignes équipotentielles et des lignes du courant dans la figure C. En reprenant les calculs effectués à la question 1.iii, nous avons trouvé une résistance  $R_1$  de la figure C de  $277.88\Omega$ . En comparant l'écart relatif avec le calcul de la résistance numérique  $R_2$  et  $R_1$  de C, nous pouvons observer que la résistance calculée à partir de l'esquisse B à un moins grand écart relatif que celle de C.

Esquisse	NS	NP	$R_1 (\Omega)$	Écart relatif (%)	$R_2 (\Omega)$
B	61	18	137.67	31.5	201 $\Omega$
C	61	9	277.88	38.2	

Figure 1 Comparaison des résistances obtenues à l'aide des esquisses B et C

- iii. Il est possible d'estimer la valeur numérique de la résistance  $R$  entre la source et le drain en se basant sur l'esquisse qui cartographie le plus adéquatement le champ dans la région du transistor. En effet, puisque les cellules sur l'esquisse sont petites, on peut considérer que le champ électrique est uniforme dans chacune de celles-ci. Les deux surfaces équipotentielles, perpendiculaires à deux lignes de courant, sont considérées comme parfaitement conductrices et séparées par un milieu de conductivité. La résistance d'une cellule se calcule alors comme suit:

$$R = \frac{1}{\sigma d}$$

En considérant désormais la résistance entre deux conducteurs, celle-ci se calcule comme suit :

$$R = \frac{N_s}{N_p} \times \frac{1}{\sigma d}$$

Or, le problème nous donne uniquement la valeur de la résistivité. On sait toutefois que la conductivité est égale à l'inverse de la résistivité. Ainsi, pour  $\rho = 0.065 \, \Omega \cdot \text{cm}$ , on a :

$$\sigma = \frac{1}{0.065E-2} = 1538.46 \, \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$$

En comptant le nombre de cellules en séries et en parallèle dans l'esquisse B, soit celle qu'on a choisie, on a :

$$N_s = 61 \quad \text{et} \quad N_p = 18$$

Avec une profondeur de  $e = 16 \, \mu\text{m}$ , la résistance trouvée est :

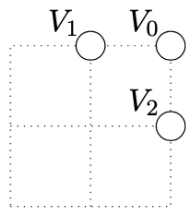
$$R = \frac{N_s}{N_p} \times \frac{1}{\sigma d} = \frac{61}{18} \times \frac{1}{(1538.46) \times (16E-6)} = 137.67 \, \Omega$$

## 2. Calcul numérique de la résistance source-drain par la méthode des différences finies

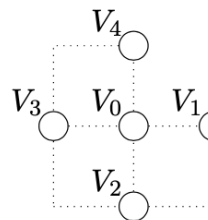
200	200	200	200	200	200	200	192,345	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-193,849	-200	-200	-200	-200	-200	-200	-200
189,191	189,114	188,889	188,526	188,041	187,426	186,543	184,689	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-187,697	-189,187	-189,894	-190,385	-190,771	-191,059	-191,239	-191,299
178,534	178,378	177,915	177,174	176,211	175,120	174,058	173,324	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-178,567	-179,156	-180,005	-180,874	-181,640	-182,229	-182,596	-182,720
168,191	167,946	167,219	166,045	164,507	162,786	161,242	160,493	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-168,262	-168,864	-170,096	-171,466	-172,688	-173,620	-174,196	-174,390
158,336	157,994	156,970	155,279	152,985	150,274	147,633	146,161	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-156,755	-157,941	-160,051	-162,207	-164,027	-165,366	-166,178	-166,449
149,166	148,724	147,386	145,117	141,879	137,691	132,852	128,886	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-142,878	-146,096	-149,960	-153,283	-155,847	-157,642	-158,702	-159,052
140,877	140,348	138,731	135,922	131,723	125,758	117,196	103,678	74,581	51,529	30,270	9,606	-10,866	-31,333	-51,970	-73,111	-95,659	-122,565	-133,607	-140,411	-145,121	-148,435	-150,655	-151,935	-152,354	
133,645	133,061	131,265	128,116	123,333	116,419	106,496	92,104	71,557	50,631	29,972	9,508	-10,870	-31,249	-51,720	-72,409	-93,480	-114,820	-125,357	-132,959	-138,355	-142,119	-144,609	-146,032	-146,495	
127,579	126,983	125,152	121,941	117,074	110,087	100,262	86,685	68,911	49,465	29,475	9,324	-10,873	-31,076	-51,253	-71,325	-91,036	-109,627	-120,042	-127,713	-133,222	-137,079	-139,631	-141,089	-141,563	
122,703	122,140	120,417	117,420	112,934	106,592	97,779	85,460	67,936	48,840	29,140	9,183	-10,872	-30,929	-50,892	-70,602	-89,715	-107,295	-117,475	-124,630	-129,741	-133,344	-135,748	-137,130	-137,581	
118,949	118,455	116,954	114,387	110,649	105,566	98,801	89,437	68,532	48,818	29,059	9,139	-10,871	-30,878	-50,785	-70,479	-89,926	-109,798	-117,932	-123,595	-127,770	-130,811	-132,890	-134,103	-134,502	
116,182	115,775	114,554	112,523	109,709	106,219	102,419	99,568	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-118,411	-120,861	-124,048	-126,934	-129,241	-130,898	-131,892	-132,222	
114,227	113,908	112,963	111,441	109,441	107,179	105,088	103,995	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-122,126	-123,054	-124,804	-126,678	-128,324	-129,572	-130,344	-130,605	
112,907	112,663	111,950	110,832	109,435	107,968	106,756	106,235	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-123,989	-124,426	-125,436	-126,653	-127,805	-128,724	-129,309	-129,510	
112,074	111,884	111,338	110,502	109,497	108,499	107,732	107,433	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-124,978	-125,228	-125,865	-126,692	-127,522	-128,211	-128,661	-128,817	
111,618	111,461	111,013	110,340	109,551	108,795	108,239	108,031	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-125,471	-125,644	-126,105	-126,731	-127,383	-127,938	-128,307	-128,437	
111,473	111,327	110,911	110,291	109,571	108,889	108,395	108,213	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-125,621	-125,772	-126,182	-126,746	-127,341	-127,853	-128,196	-128,316	

Figure 2: Distribution de potentiel dans le transistor JFET en utilisant la technique des différences finies

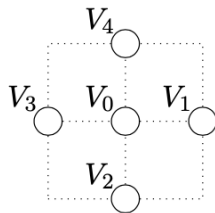
Pour calculer la distribution de potentiel, nous avons la méthode numérique de Laplace illustré grâce aux figures ci-dessous inspiré du par les figures de la page 6-11 et 6-12 [1]:



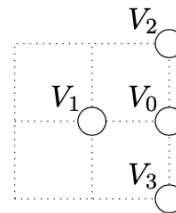
$$V_0 = \frac{V_1 + V_2}{2}$$



$$V_0 = \frac{V_1 + 2V_2 + 2V_3 + V_4}{6}$$



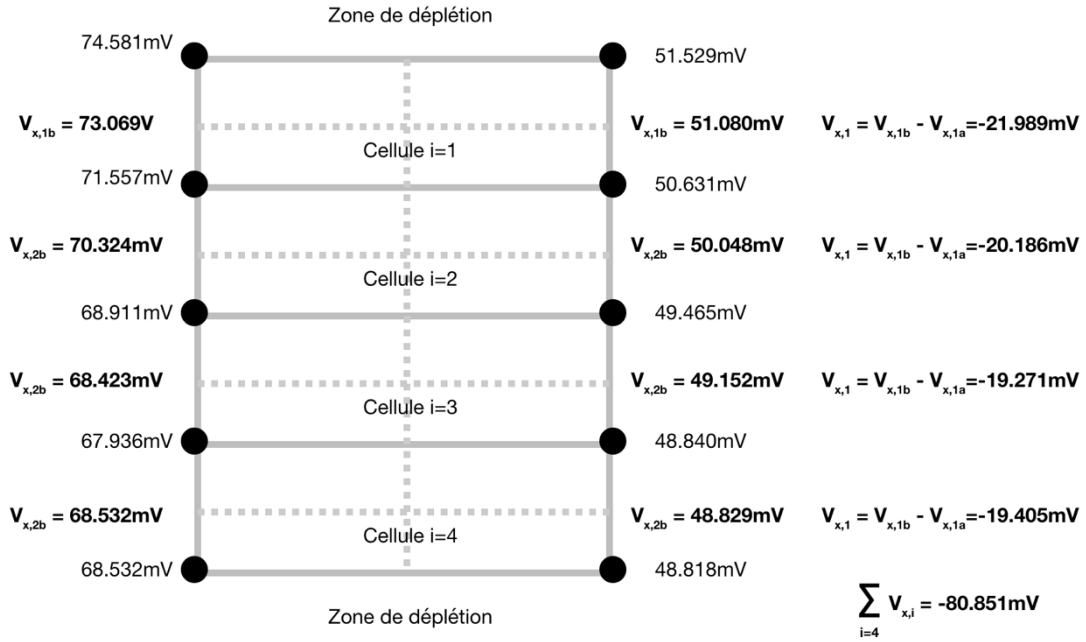
$$V_0 = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + V_4}{4}$$



$$V_0 = \frac{2V_1 + V_2 + V_3}{4}$$

## 3. Calcul numérique

- i. Nous avons les valeurs suivantes pour évaluer le courant qui passe entre la source et le drain du transistor JFET :



$$\begin{aligned}
 I &= -\sigma.e. \sum_{i=1}^4 \Delta V_i \\
 &= -\frac{1}{0,065\Omega.cm} \times (16)\mu m. \times (-80.851)mV \\
 &= 1.99mA
 \end{aligned}$$

- ii. Pour trouver la densité du courant sur la source. Nous avons procédé au calcul suivant :

$$\begin{aligned}\vec{J} &= \sigma \vec{E} \\ J_{moy} &= \sigma E_{moy} \\ J_{moy} &= \frac{1}{0,065 \Omega.cm} \times \frac{200mV}{0.05 \mu m} \\ J_{moy} &= \frac{80}{13} \frac{mA}{\mu m^2} \\ J_{moy} &= 6.153 \frac{mA}{\mu m^2}\end{aligned}$$

- iii. Enfin, pour trouver la résistance R entre la source et le drain, nous avons effectué le calcul suivant :

$$\begin{aligned}R_2 &= \frac{\Delta V}{I} \\ R_2 &= \frac{400}{1.99} = 201 \Omega;\end{aligned}$$

Nous observons une différence entre la valeur de la première résistance estimée grâce à la cartographie des champs et la deuxième résistance obtenue numériquement en effectuant la méthode des différences finies. En effet, nous avons obtenus une résistance  $R_1 = 137.76 \Omega$  et  $R_2 = 201 \Omega$ . Il s'agit d'un écart relatif de 31.5%. Nous posons les hypothèses suivantes pour expliquer que cet écart soit aussi élevé :

- $R_1$  est calculé basé sur une observation cartographique approximative.
- Les cellules sur les esquisses ne sont pas exactement carrées.

Nous avons évalué pendant un certain temps laquelle des esquisses cartographiques entre la B et C serait la plus appropriée. Nous avons, à la fin de notre travail, évalué la résistance  $R_1$  que nous aurions obtenues en utilisant le décompte des lignes équipotentielles et des lignes du courant dans la figure C. En reprenant les calculs effectués à la question 1.iii, nous avons trouvé une résistance  $R_1$  de la figure C de  $277.88\Omega$ . En comparant l'écart relatif avec le calcul de la résistance numérique  $R_2$  et  $R_1$  de C, nous pouvons observer que la résistance calculée à partir de l'esquisse B à un moins grand écart relatif que celle de C.

Esquisse	NS	NP	$R_1 (\Omega)$	Écart relatif (%)	$R_2 (\Omega)$
B	61	18	137.67	31.5	201 $\Omega$
C	61	9	277.88	38.2	

Figure 3 Comparaison des résistances obtenues à l'aide des esquisses B et C

#### 4. Bibliographie

[1] L. MARTINU, D. SIMON, J. CERNY. Champs électromagnétiques 4ème édition : Manuel de laboratoire N 6542. Presses Internationales Polytechnique. Montréal. 2012