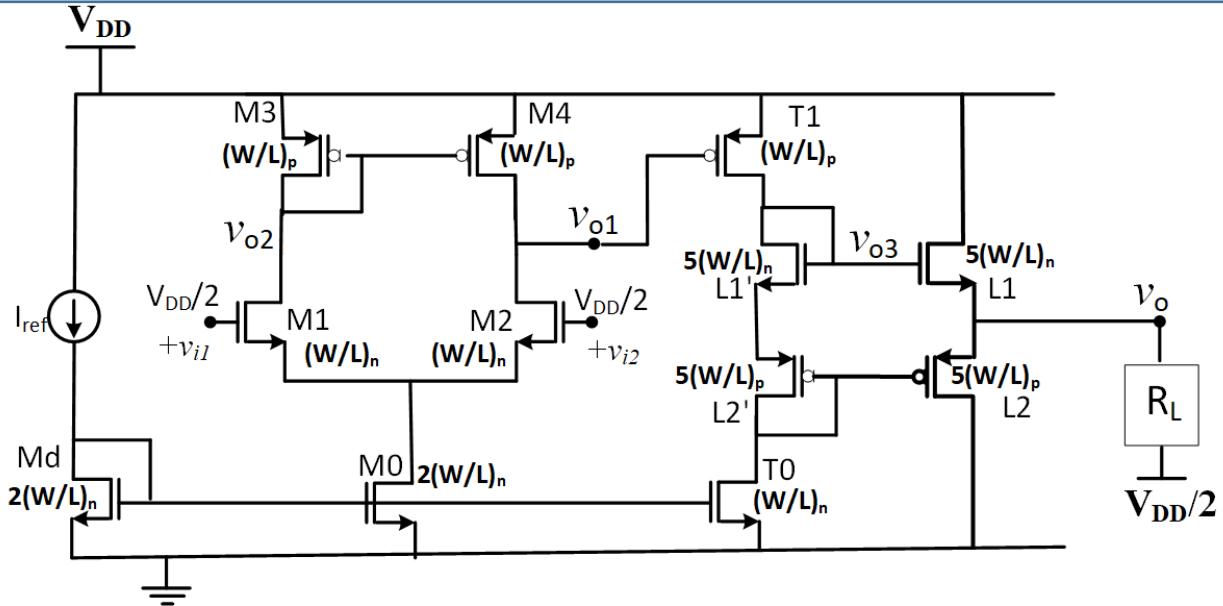


TP\_SIM6 « AmpliOp en CMOS »

**Données Techno:  $V_{DD} = 5 \text{ V}$ ,  $L = 2 \mu\text{m}$**

**nMOS:  $k_{p,n} = 120 \mu\text{A/V}^2$  ;  $V_{\text{Tn}} = 0.8 \text{ V}$  ;  $U_{\text{a,N}} = 25 \text{ V}/\mu\text{m}$  ;  
 $\lambda = 1/(U_{\text{a,n}} L) = 0.02$  pour  $L = 2 \mu\text{m}$**

$$\text{pMOS: } k_{p,p} = 40 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2}; V_{\text{Tp}} = 0.9 \text{ V}; U_{\text{a,p}} = 20 \frac{\text{V}}{\mu\text{m}}; \lambda = 1/(U_{\text{a,p}} L) = 0.025 \text{ pour } L = 2 \mu\text{m}$$



$V_{DD} = 5 \text{ V}$ ;  $I_{ref} = 40 \text{ uA}$ ;  $R_L = 10 \text{ k}\Omega$ ;  $V_G(M_{1,2}, DC) = V_{DD}/2$  Transistors:  $(W/L)_n = 10/2$ ;  $(W/L)_p = 30/2$ .

Remarque générale : Vue la complexité du circuit, nous utiliserons le modèle le plus simple possible pour les transistors afin d'éviter des résultats erronés ou difficile à interpréter à votre niveau. Pour cela nous utiliserons la commandes SPICE suivante :

- Pour le nMOS « .model nMOS\_1u nmos (kp=120 vt0 = 0.8 lambda=0.02) ».
  - Pour le pMOS « .model pMOS\_1u pmos (kp=40 vt0=-0.9 lambda=0.025) ».
  - Lambda est donnée par  $\lambda = 1/(U_{a,n,p} L)$
  - Ce model ne prend pas en compte le capacités parasites des transistors. On ne peut donc pas l'utiliser pour déterminer la bande passante et donc le GBW de l'AmpliOp

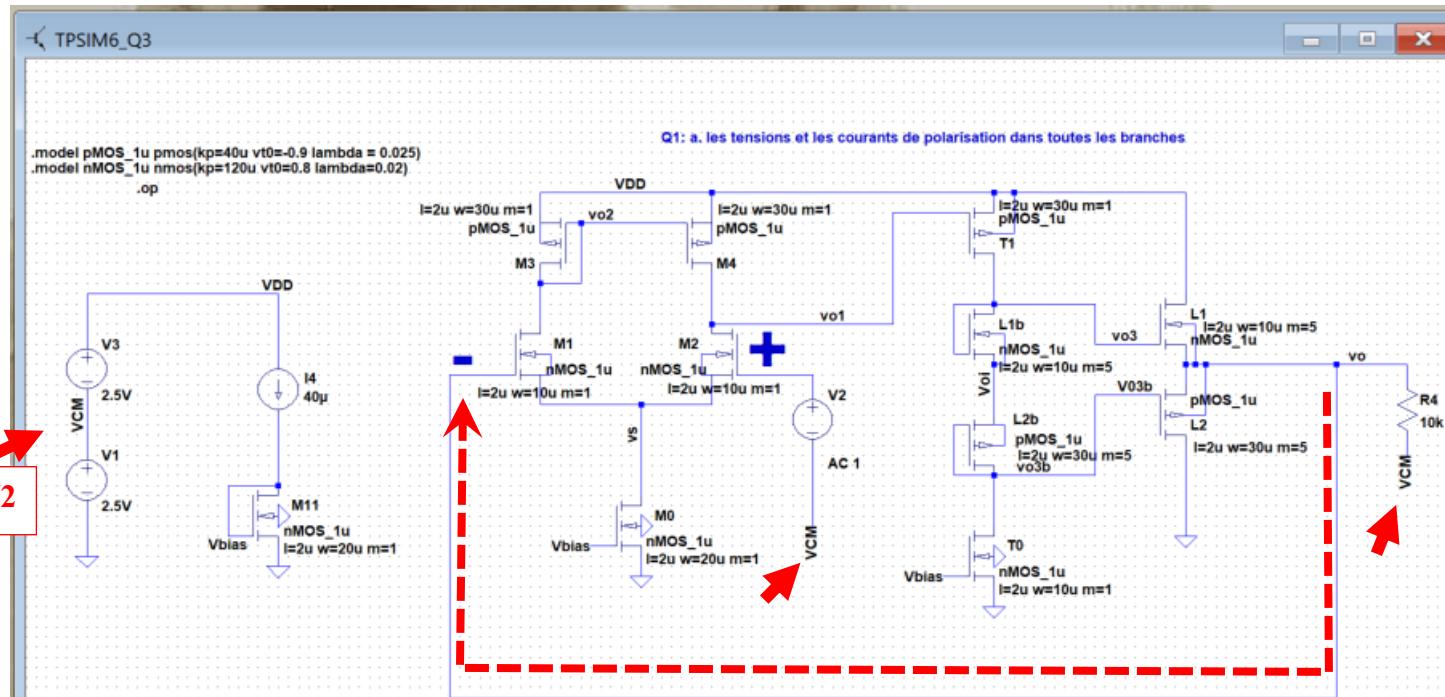
Réaliser le circuit sur LTSPICE et vérifier par simulation les caractéristiques suivantes:

### Q3 Les tensions et les courants de polarisation dans toutes les branches.

La commande pour déterminer les tensions et courants de polarisation DC est « `.op` » (DC Operating Point Analysis).



Avant de commencer cette analyse il faut polariser correctement votre AmpliOp. On sait que la tension DC à la sortie doit être mise à  $V_{DD}/2$  (respectivement à 0 si l'AmpliOp est alimenté entre  $-V_{DD}$  et  $+V_{DD}$ ). On sait aussi que c'est le circuit de contre réaction qui fixe cette tension. On doit donc ajouter une contre réaction à l'AmpliOp avant d'appliquer la commande « `.op` », par exemple le mettre en configuration suivante :



\* \sti-nas1.rcp.epfl.ch\gr-sci-iel\koukal

--- Operating Point ---

V(vs):	1.44682
V(vbias):	1.05552
V(vo2):	3.84448
V(vo):	2.50001
V(n003):	1.55469
V(vo1):	3.8457
V(n005):	2.5
V(n004):	1.55473
V(vdd):	5
V(n002):	4.83595
V(n001):	4.83595
V(vcm):	2.5
V(vo3):	3.41506
V(vo3b):	1.48564
V(voi):	2.50015
V(n006):	2.37507
Id(T1):	-2.01685e-005
Ig(T1):	-0
Ib(T1):	1.59494e-012
Is(T1):	2.01685e-005
Id(L2b):	-2.01685e-005

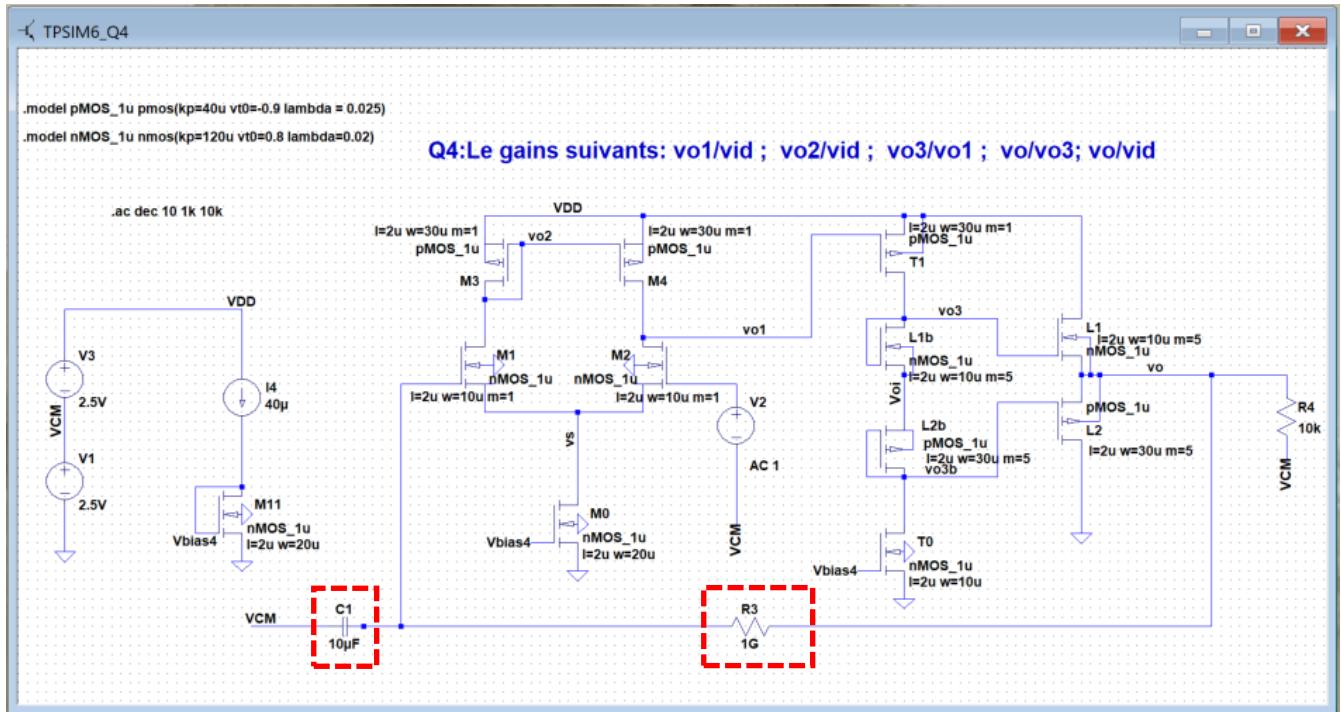
Name:	m\$tl	m\$12b	m\$12	m3	m4
Model:	pmos_1u	pmos_1u	pmos_1u	pmos_1u	pmos_1u
Id:	-2.02e-05	-2.02e-05	-2.08e-05	-2.02e-05	-2.02e-05
Vgs:	-1.15e+00	-1.01e+00	-1.01e+00	-1.16e+00	-1.16e+00
Vds:	-1.58e+00	-1.01e+00	-2.50e+00	-1.16e+00	-1.15e+00
Vbs:	0.00e+00	-1.25e-01	0.00e+00	-1.64e-01	-1.64e-01
Vth:	-9.00e-01	-9.00e-01	-9.00e-01	-9.00e-01	-9.00e-01
Vdsat:	-2.54e-01	-1.15e-01	-1.14e-01	-2.56e-01	-2.56e-01
Gm:	1.59e-04	3.52e-04	3.65e-04	1.58e-04	1.58e-04
Gds:	4.85e-07	4.92e-07	4.91e-07	4.90e-07	4.90e-07
Name:	m\$tl	m\$12b	m\$12	m3	m4
Model:	nmos_1u	nmos_1u	nmos_1u	nmos_1u	nmos_1u
Id:	2.02e-05	2.02e-05	2.08e-05	4.00e-05	2.02e-05
Vgs:	1.06e+00	9.15e-01	9.15e-01	1.06e+00	1.05e+00
Vds:	1.49e+00	9.15e-01	2.50e+00	1.06e+00	2.40e+00
Vbs:	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	1.08e-01
Vth:	8.00e-01	8.00e-01	8.00e-01	8.00e-01	8.00e-01
Vdsat:	2.56e-01	1.15e-01	1.15e-01	2.56e-01	2.53e-01
Gm:	1.58e-04	3.51e-04	3.62e-04	3.13e-04	1.59e-04
Gds:	3.92e-07	3.96e-07	3.97e-07	7.83e-07	3.85e-07
Name:	m1	m0	m1	m2	m3
Model:	nmos_1u	nmos_1u	nmos_1u	nmos_1u	nmos_1u
Id:	2.02e-05	4.03e	1.06e	1.06e	1.06e
Vgs:	1.05e+00	1.06e	1.06e	1.06e	1.06e
Vds:	2.40e+00	1.45e	1.45e	1.45e	1.45e
Vbs:	1.08e-01	0.00e	0.00e	0.00e	0.00e
Vth:	8.00e-01	8.00e	8.00e	8.00e	8.00e
Vdsat:	2.53e-01	2.56e	2.56e	2.56e	2.56e
Gm:	1.59e-04	3.15e	3.15e	3.15e	3.15e
Gds:	3.85e-07	7.83e	7.83e	7.83e	7.83e

Q 4 & 5 les gains suivants en dB:  $\frac{v_{o1}}{v_{id}}$ ;  $\frac{v_{o2}}{v_{id}}$ ;  $\frac{v_{o3}}{v_{o1}}$ ;  $\frac{v_o}{v_{o3}}$  c. Le gain boucle ouverte  $A = \frac{v_o}{v_{id}}$

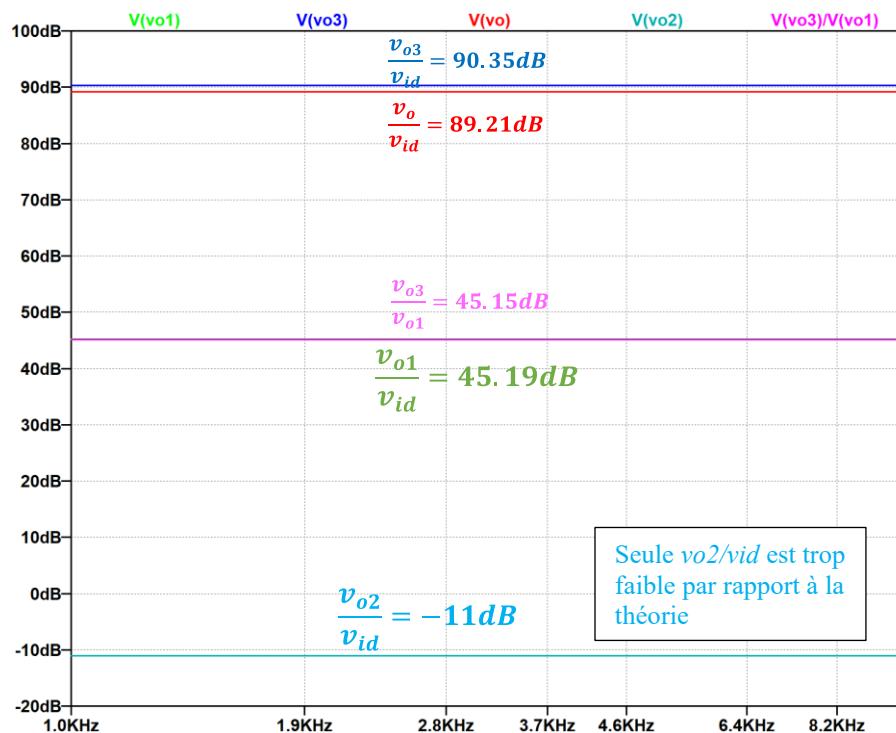
Il s'agit de gains ac en boucle ouverte (sans contre réaction)



Là aussi il faut assurer une polarisation correcte de votre AmpliOp en DC à l'aide d'une réaction négative (boucle fermée) tout en faisant en sorte qu'en ac la boucle devient ouverte (réf. Electronique I, TP\_SIM2).



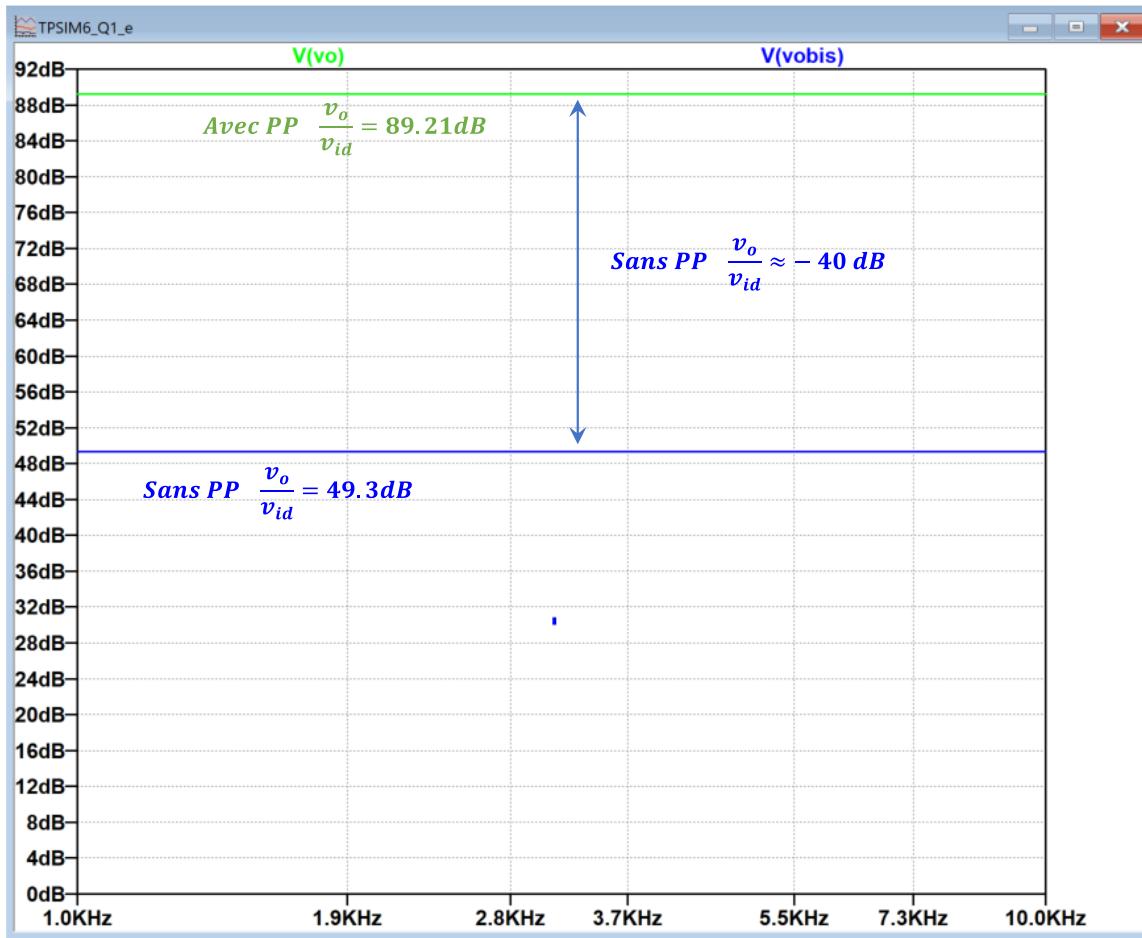
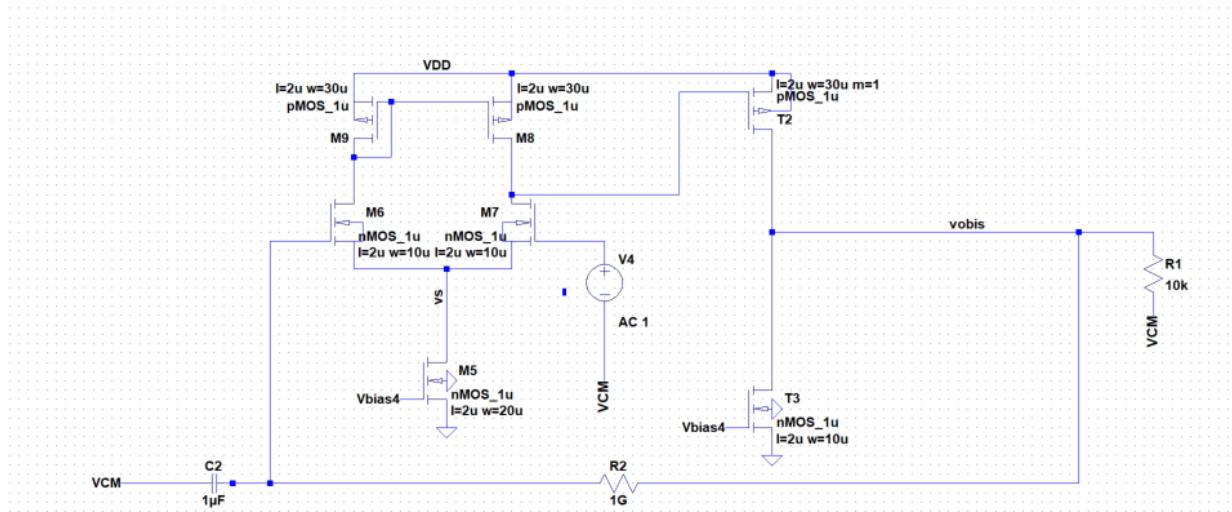
En DC,  $Z_C \rightarrow \infty$  et  $R_3$  n'est parcourue par aucun courant  $\Rightarrow$  Montage  $\equiv$  un suiveur en DC  $\rightarrow v_o(\text{DC}) = V_{CM} = V_{DD}/2$ . En AC,  $Z_C \rightarrow 0$  et  $R_3 \rightarrow \infty$  ( $1G\Omega$ )  $\Rightarrow$  Montage  $\equiv$  AO boucle ouverte avec  $v_- = 0$  et  $v_+ = v_{dif}$ . Rq (une grande inductance à la place de  $R_3$  jouera le même rôle (réf. Electronique I, TP\_SIM2).



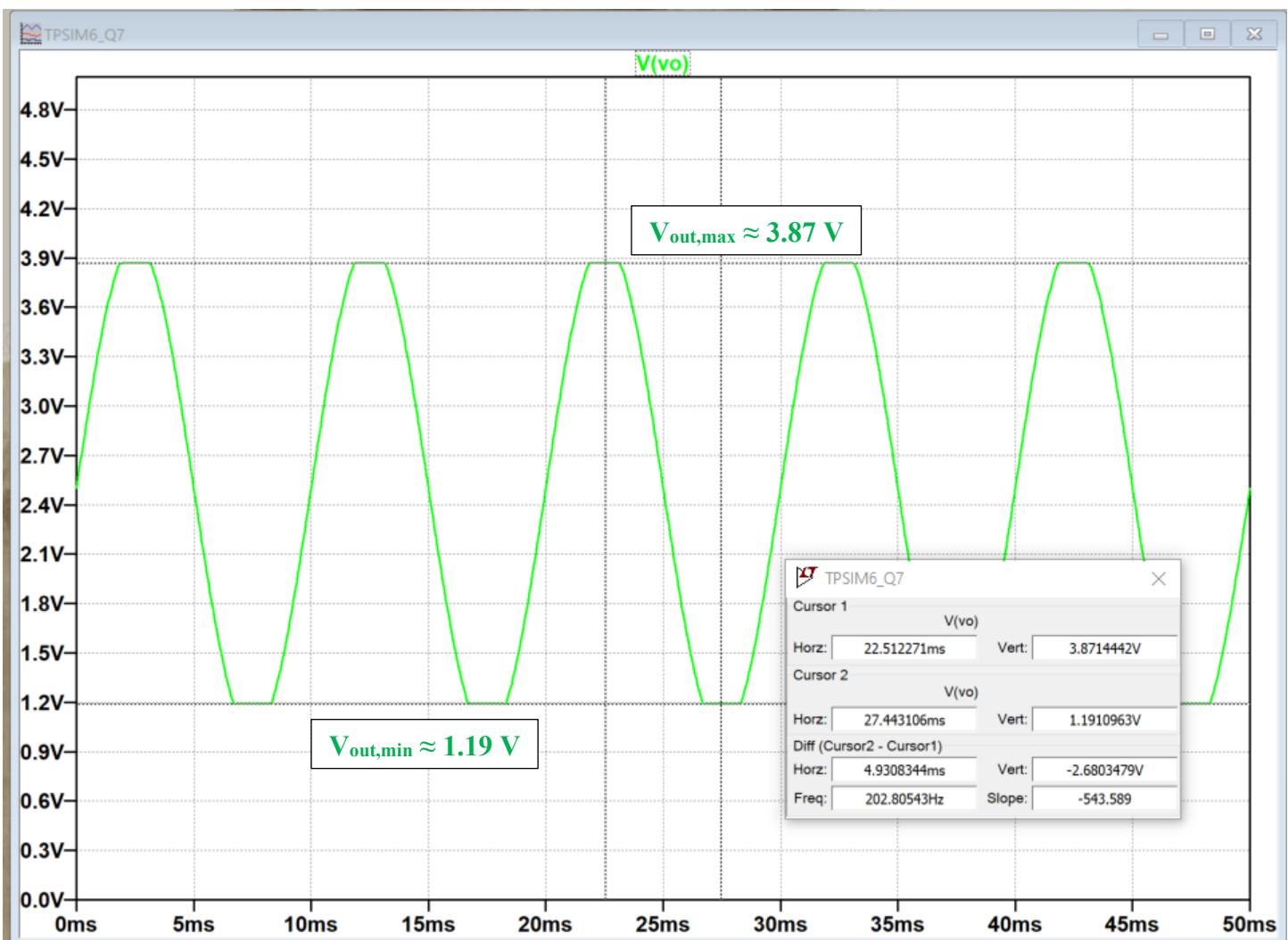
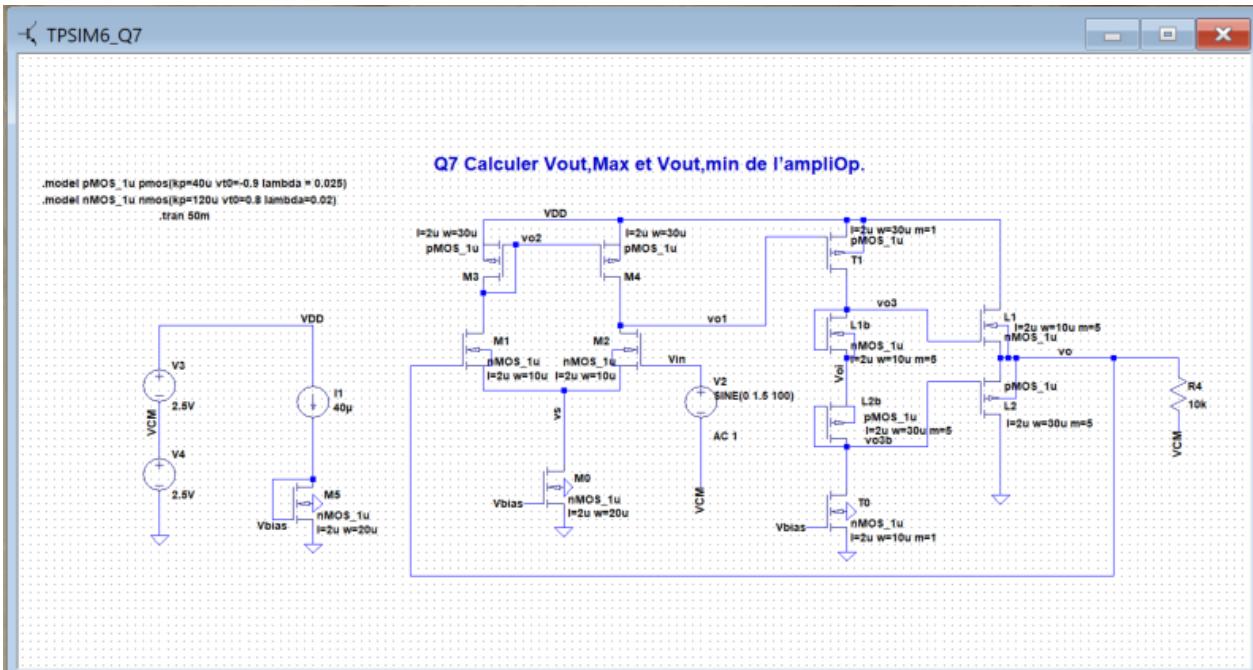


Pour l'AmplOp en bipolaire on privilégie une inductance très grande à la place de  $R_3$  car le courant de base  $I_b$  est certes petit mais pas nul comme  $I_g$  du MOSFET (présence de l'oxide).  $V(R_3)=R_3.I_b$  peut donc être non-négligeable si  $R_3$  est trop grand (ex  $1G\Omega$ ), ce qui fausserait la polarisation DC à la sortie de l'AO en bipolaire.

## Q 6 Le gain sans l'étage Push-Pull. e. Comparer les gains de L'AmpliOp avec et sans Push-pull



## Q7 Calculer $V_{out,Max}$ et $V_{out,min}$ de l'ampliOp.



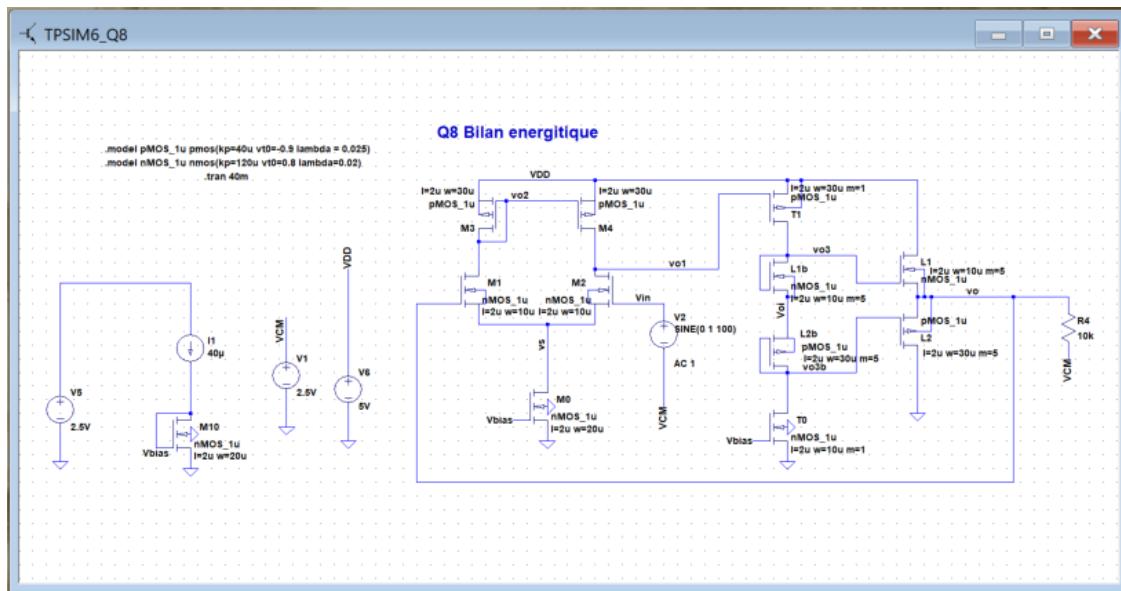
**Q 8 En utilisant un montage suiveur donnant un  $v_o = 1 \sin(\omega t)$ , calculer:**

- La puissance moyenne  $\overline{P_L}$  fournie à la charge
- Les valeurs moyennes des courants  $\overline{I_{d1,2}}$  fournis alternativement à la charge par  $L_1$  et  $L_2$  (courants mono-alternance) en déduire puissance moyenne consommée  $\overline{P_{cc3}}$  par le push-pull.
- La puissance moyenne consommée par chaque étage  $P_{cei}$ , en déduire la puissance totale consommée par l'amplificateur  $P_{cc}$  (ne compter pas la branche ( $I_{ref,Md}$ )).
- L'efficacité énergétique  $\eta$  définie comme le rapport entre la puissance fournie à la charge et la puissance totale consommée.

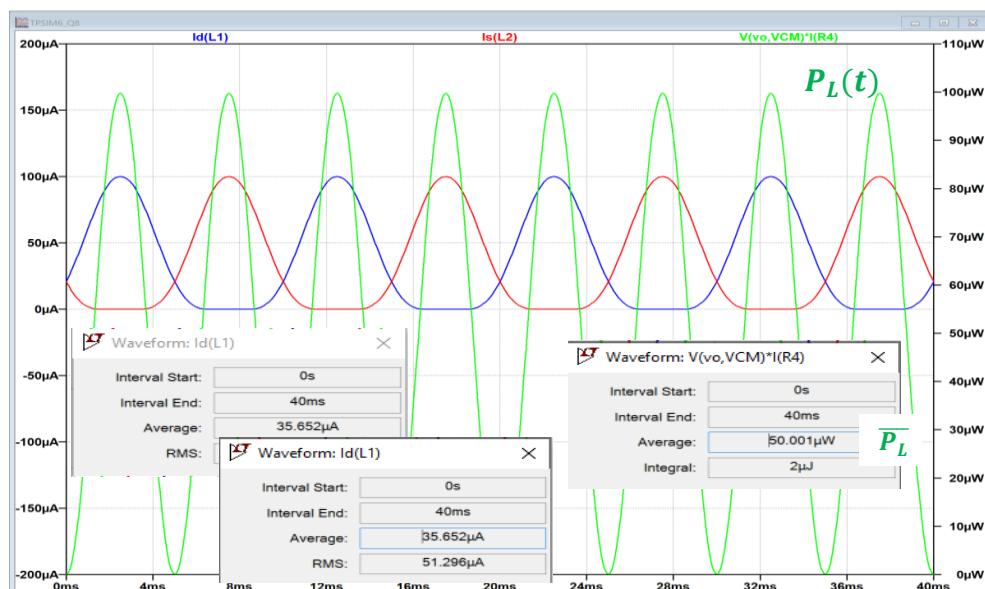


Sur LTSPICE : La puissance instantanée  $P(t)$  dissipée par un composant quelconque est fournie par la commande (Alt click sur le composant dans le schéma).

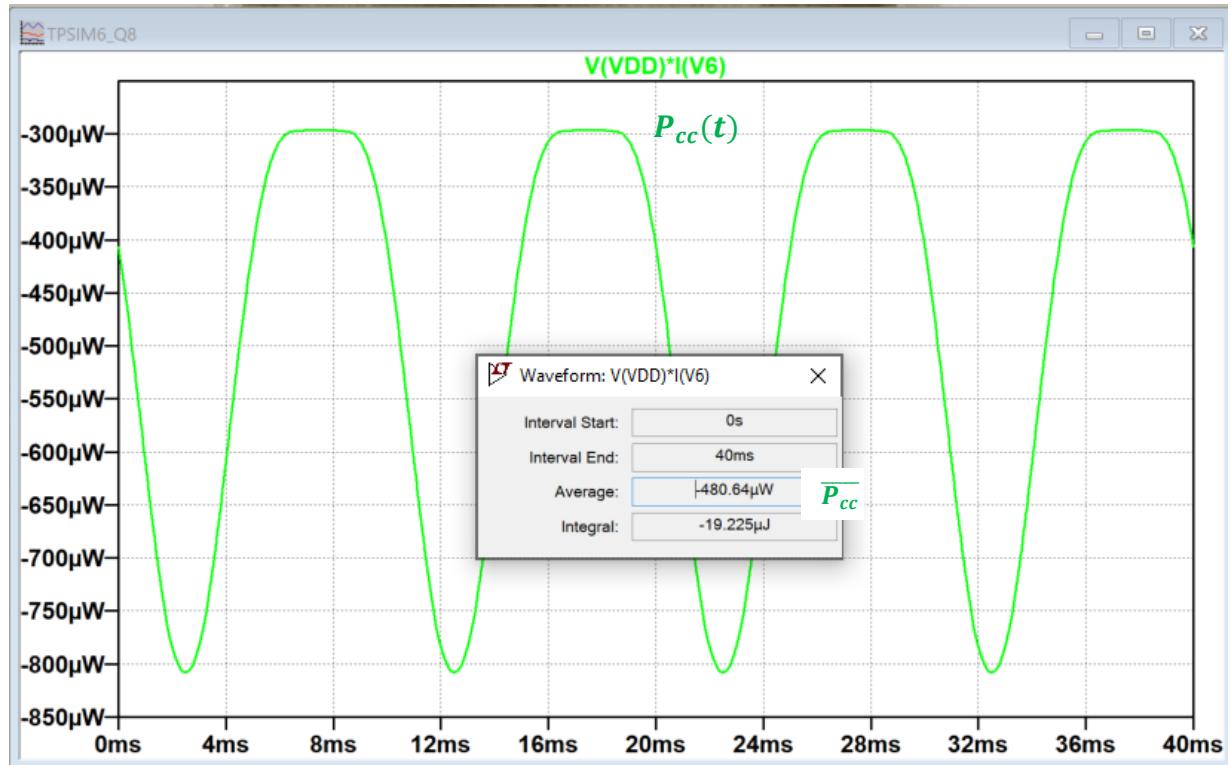
La moyenne d'une courbe quelconque est fournie par la commande (Ctrl click sur le titre de la courbe à moyenner). Attention ici le nombre de périodes tracées doit être entier pour que le résultat soit juste.



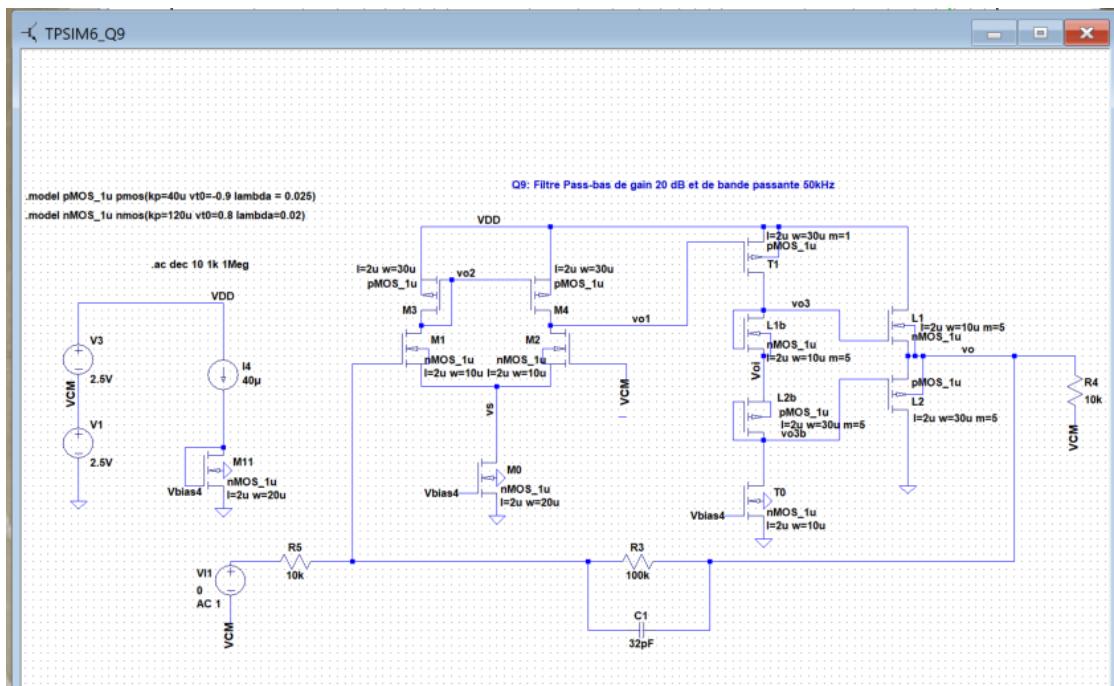
i&ii

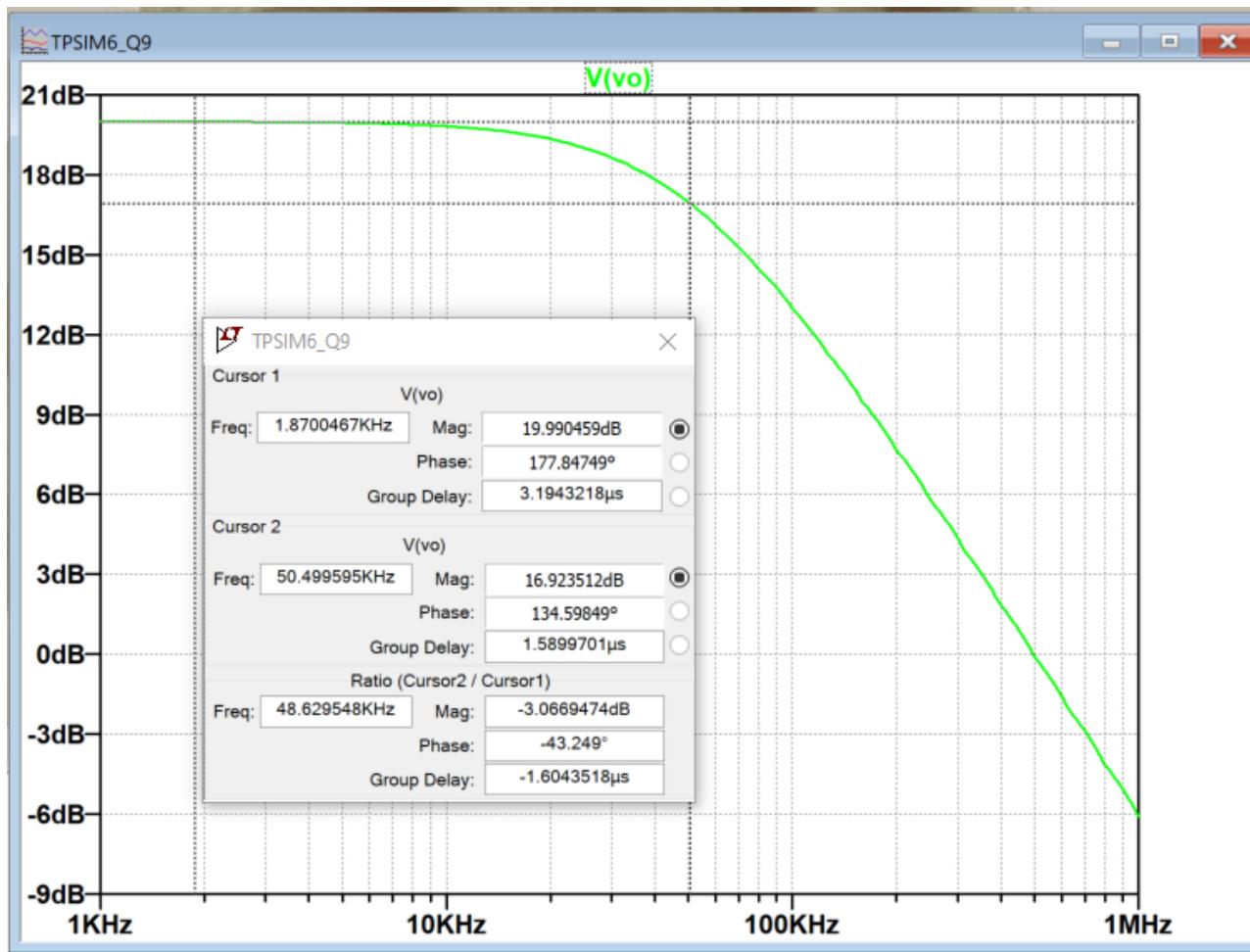


iii. la puissance totale consommée par l'amplificateur  $P_{cc}$  (sans la branche (Iref,Md)) est la puissance moyenne fournie par l'alimentation  $V_{DD}$

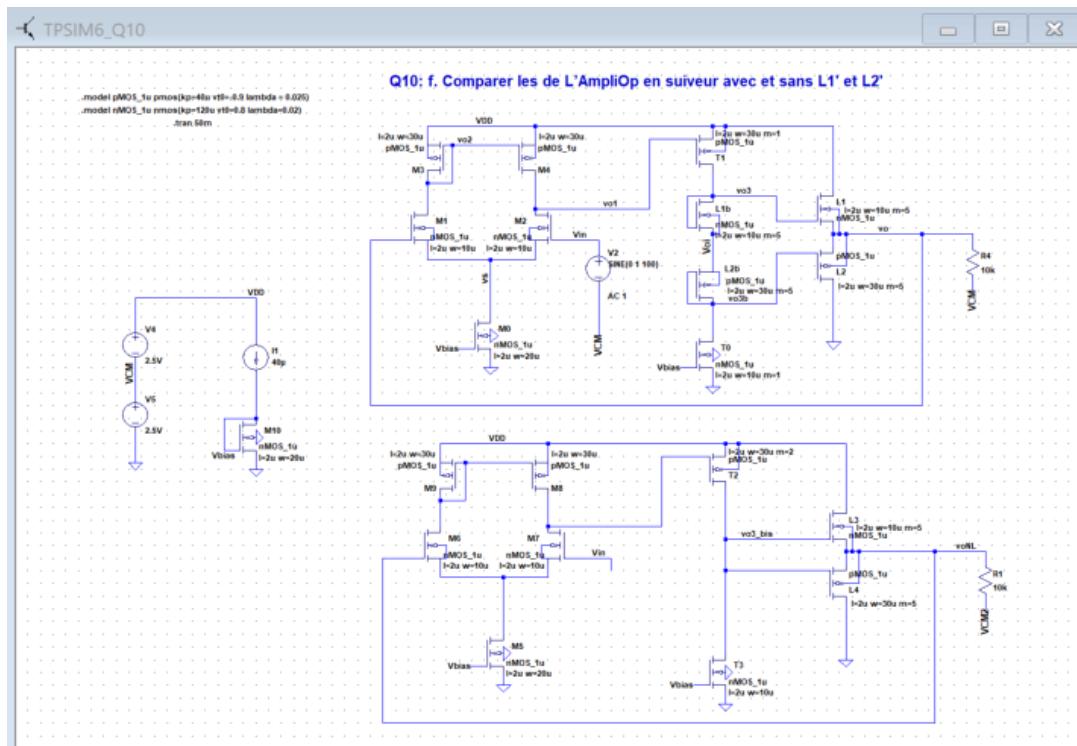


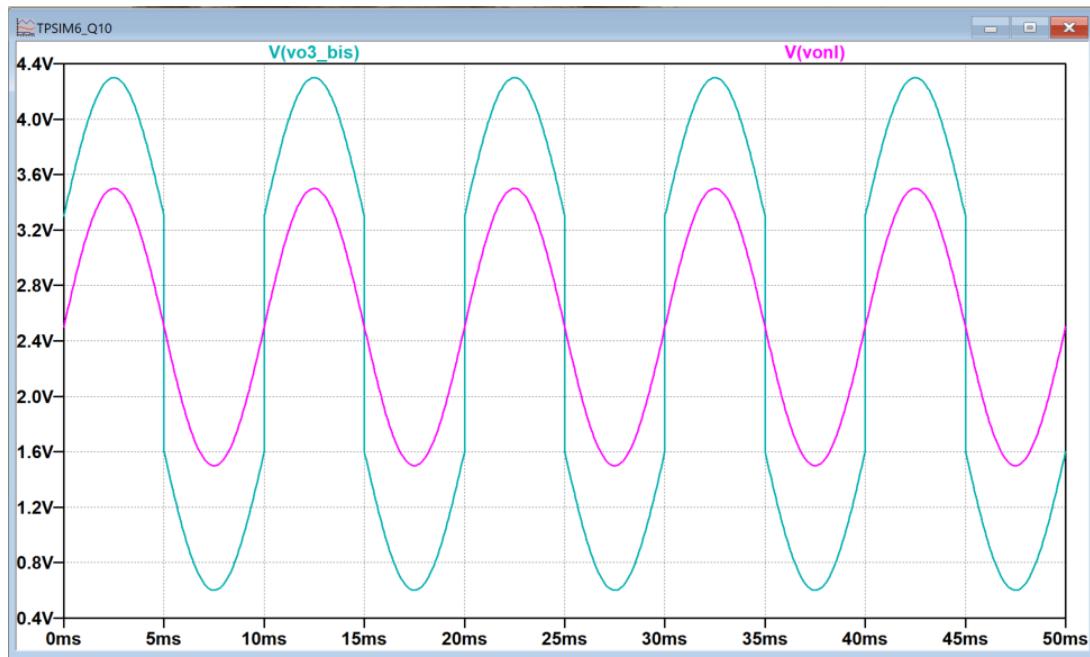
Q 9 Ajouter sur le schéma les éléments nécessaires pour en faire un filtre pass-bas de gain 20 dB et de bande passante 50kHz. Vérifier le résultat par simulation et relever le GBW de l'AmpliOp.





**Q 10 Comparer la linéarité de l'AmpliOp avec et sans  $L_1'$  et  $L_2'$  en utilisant une configuration ampli suiveur. Visualiser le signal d'entrée du Push-Pull et commenter.**





L'AmpliOp en réaction négative assure la linéarité du Push-Pull en maintenant  $V+ = V-$  (réf. TP4 complément pour plus de détails)