

du Système à la Fonction

(1ère partie)

Cours de transmission de l'information
et d'électronique générale

EFREI - L1 - Février 2015

Pierre Prot - pierre.prot@efrei.net -



BIOSERENITY

Plan de cours

- Introduction
 - Objectifs de ce cours
 - Introduction à la transmission d'information
 - Rappels de base en électronique
- Cours
 - La transmission électrique
 - La fonction amplification
 - La fonction filtrage
 - Applications

Objectifs de ce cours Pourquoi venir à ce cours ?

- Culture technique de l'ingénieur
 - Electronique et telecoms de base
 - Notions de base :
 - information, puissance, énergie = importants dans d'autres domaines techniques
 - Bagage technique considéré comme maîtrisé par tout ingénieur, culture commune
- Entraînement à la réflexion multidisciplinaire
 - Passer de la pratique à la théorie et réciproquement
 - Apprendre quand et comment faire des approximations

Layout by omgjez23, CC-BY

Objectifs de ce cours Pourquoi sécher ce cours ?

- Pour :
 - passer pour un inculte
 - éviter de savoir réfléchir sur des sujets multidisciplinaires
 - ne surtout rien connaître en électronique hardware, en électricité de base, en distribution d'énergie, en télécoms, etc...
 - échouer à valider la matière (20-25% des étudiants)
 - Sympa à repasser les années suivantes...
- Parce que le cours est peut-être trop facile
 - Hum... pour certains seulement :-)

Layout by omgjez23, CC-BY

Introduction : historique de la transmission d'information

- le messenger, le « avis à la population »
- le courrier écrit, le coursier, le service postal...
- les messages codés : fumée, signes, fanions, télégraphe...
- le télégraphe électrique, le code Morse
- le téléphone électrique « analogique »
- le télécopieur, la télécopie
- le réseau téléphonique
- la téléphonie numérique
- la téléphonie sans fil
- Les réseaux de transport numériques

Layout by omgic223, CC-BY

Introduction : historique de la transmission d'information

- Communiquer à distance : un besoin de l'homme
- Qualités de la communication :
 - Intégrité de l'information transmise
 - Rapidité
 - Fort volume de donnée par unité de temps : débit
 - Temps de transport d'un bloc d'information unitaire : temps de latence
 - Confidentialité
 - Fiabilité, disponibilité
 - Capacité de couverture, portée

Layout by omgic223, CC-BY

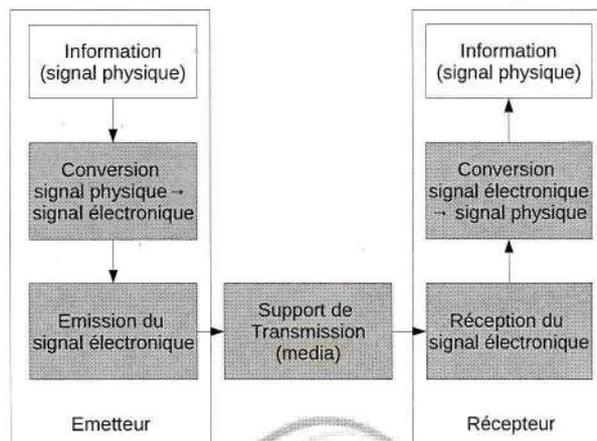
Introduction : l'électricité comme support de communication

- Caractéristiques de l'électricité utiles :
 - Transmission de l'onde électrique : très rapide
 - Capacité à voyager sur la distance
 - Capacité à changer d'état rapidement
 - Peu d'énergie nécessaire au transport d'information
- Problématiques :
 - Problématiques de bruit et de transport longue distance
 - Amplification, filtrage
 - Nécessité de convertir l'information en électricité
 - Transducteurs

*vitesse info de câble
≈ $\frac{1}{2}$ c de la lumière*

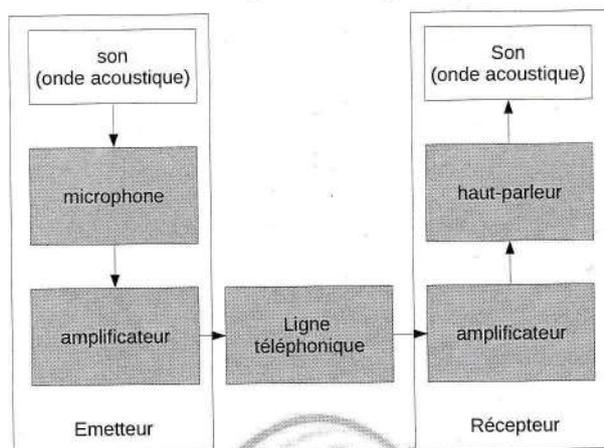
Layout by omgice223, CC-BY

Introduction : schéma d'une transmission électronique



Layout by omgice223, CC-BY

Exemple d'une transmission téléphonique



Layout by ornglce223, CC-BY

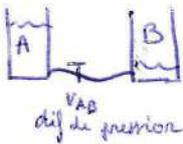
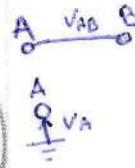
Introduction : l'objet de ce cours

- Emission de l'information
 - Amplification
 - Filtrage
- Transmission de l'information
 - Lignes de transmission
 - Pertes, régénération (amplification)
 - Atténuation hautes fréquences, égalisation
- Réception de l'information
 - Amplification
 - Filtrage

Layout by ornglce223, CC-BY

Rappels d'électronique la tension électrique

- Différence de potentiel, en Volts (V)
 - Entre deux noeuds (équipotentiels) : $V_{ab} = V_a - V_b$
 - Entre un noeud et la masse : $V_a = V_a - V_{masse}$, @ $V_{masse} = 0$
- Equivaut à une "différence de pression électrique"
- Peut être :
 - Imposée par un générateur de tension
 - positive ou négative
 - continue (DC), varier dans le temps, alternative (AC)...
 - notée sur le schéma par une flèche semblable à un vecteur, qui pointe le premier des deux noeuds



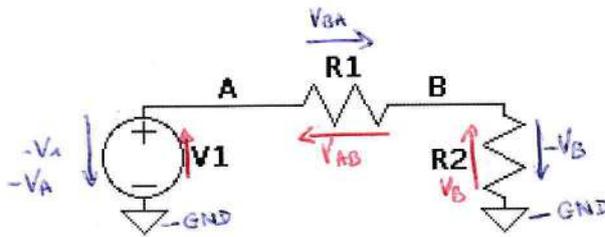
$$V_{AB} = -V_{BA}$$

DC

alternative + et -

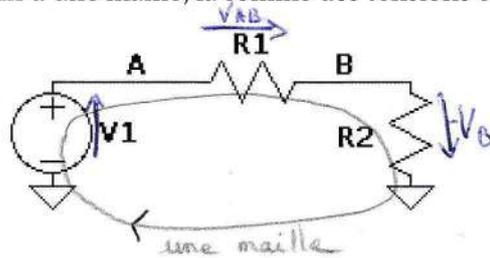
DC: somme DC + AC

Rappels d'électronique : la tension électrique



Rappels d'électronique : Loi d'additivité des tension

- Loi des mailles :
 - "Au sein d'une maille, la somme des tensions est nulle"



Layout by omgjee223, CC BY

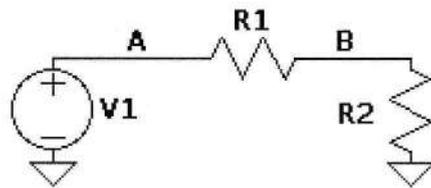
Tf les mailles sont reliées.

$$V_1 + V_{BA} - V_2 = 0$$



Rappels d'électronique : Loi d'additivité des tension

- En pratique :
 - Les tensions s'additionnent comme des vecteurs



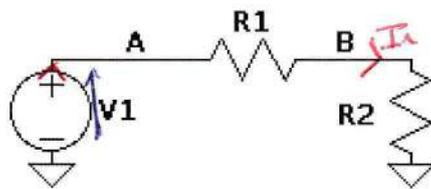
Layout by omgjee223, CC BY

Rappels d'électronique : Le courant électrique

- Flux de charge électrique, en ampères (A) = Coulombs / seconde ($C.s^{-1}$)
 - "quantité de courant" passant dans un point donné, par unité de temps
- Peut être :
 - positif ou négatif
 - continu (DC), varier dans le temps, alternatif (AC)...
 - Noté sur le schéma par une flèche sur un fil
- Convention générateur : le courant "sort"
- Convention récepteur : le courant "entre"

Layout by omiglez23, CC-BY

Rappels d'électronique : le courant électrique

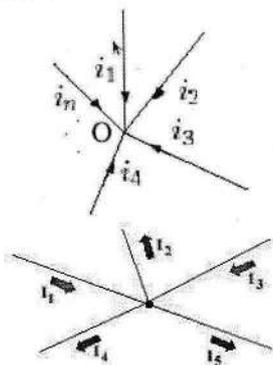


Layout by omiglez23, CC-BY

*Current in same direction as voltage for generator
Current in opposite direction as voltage for receiver*

Rappels d'électronique : loi des noeuds

- Loi de Kirchhoff :
 - La somme des courants entrant sur un noeud est nulle
- Corollaire :
 - La somme des courants entrant sur un noeud est égale à la somme des courants sortant du noeud
- En pratique :
 - Imaginer que c'est de l'eau !



Id : $I_1 + I_3 = I_2 + I_4 + I_5$

$= I_1 - I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0$

Layout by omgjez23, CC-BY

Rappels d'électronique : la loi d'Ohm

- S'applique qu'à un récepteur => convention récepteur
- $U = R \cdot I$
- $I = U / R$
- Marche aussi en impédance complexe (condensateurs, inductances en régime sinusoïdal AC)
 - $Z = a + j.b$
 - $U = Z \cdot I$, $I = U / Z$

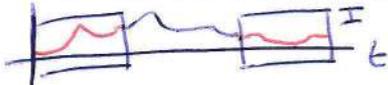


Layout by omgjez23, CC-BY

Rappels d'électronique : la puissance

- $P = U \cdot I$
 - En Watt (W) = Joule/seconde (J/s)
 - Valable :
 - en DC
 - en AC avec des $Z = a + j.b$
 - en instantané : $P(t) = U(t) \cdot I(t)$
- Couplé avec la loi d'ohm :
 - $P = (R \cdot I) \cdot I \Rightarrow P = R \cdot I^2$
 - $P = U \cdot (U / R) \Rightarrow P = U^2 / R$
- Quantité d'énergie par unité de temps

Layout by omg1ez23, CC-BY



puissance au cours du tps -
on calcule une puissance à un instant t.
P+ en sortie du générateur
P- en entrée du générateur

Rappels d'électronique : le signe de la puissance

- Convention générateur
 - Courant dans le même sens que tension
 - Si $P > 0 \Rightarrow$ le générateur émet de la puissance électrique dans le circuit
 - Besoin d'une autre source d'énergie pour produire l'électricité
- Convention récepteur
 - Courant dans le sens opposé à la tension
 - si $P > 0 \Rightarrow$ le composant reçoit (et donc consomme) de la puissance électrique dans le circuit
 - L'électricité produit un travail
- Seule la partie réelle de l'énergie correspond à du travail reçu ou produit

Layout by omg1ez23, CC-BY

reception d'énergie, reémission physique
dissipation d'énergie sous de nombreuse forme possible -
condensateur, stocker et rejette de l'énergie -

puissance complexe -

$$P = \underbrace{a}_{\text{réel}} + j \underbrace{b}_{\text{imaginaires}}$$

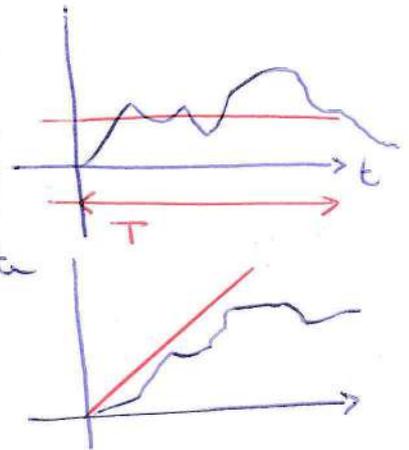
seul la partie réel correspond à une production d'E -

Rappels d'électronique : L'énergie

- Puissance multipliée par le temps durant lequel elle est développée, en Joule (J) = Watt.s (W.s)
- $dE = dP \cdot dt$
- $E = \int_{de 0 \text{ à } T} (P(t) \cdot dt)$
- Exemples :

- 1W pendant 1s = 1 J
 - 1W pendant 1h = 3600 W.s = 3,6 kJ
 - 1kW pendant 1h = 3600 000 Ws = 3,6 MJ = 1 kWh
 - 10W pendant 1 journée = $24h \times 3600s \times 10 = 864 000 J$
 - 1kWh dépensé en 2h = $\frac{1000}{2h} = 500 W$
- $1kWh = P \times 2h$

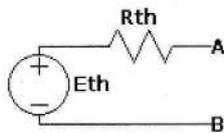
Layout by omgice223, CC-BY



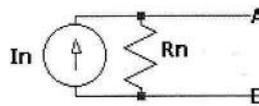
$dE = dP \times dt \rightarrow$ que si puissance constante
 $E = \int P \rightarrow$ puissance non constante

Rappels d'électronique : Thévenin et Norton

- Géné de Thévenin



- Générateur de Norton



Layout by omgice223, CC-BY

Rappels d'électronique : conversion Norton - Thévenin

- Tout générateur de Thévenin peut être converti en un générateur de Norton avec :
 - $I_n = E_{th} / R_{th}$
 - $R_n = R_{th}$
- Tout générateur de Norton peut être converti en un générateur de Thévenin avec :
 - $E_{th} = I_n \times R_n$
 - $R_{th} = R_n$

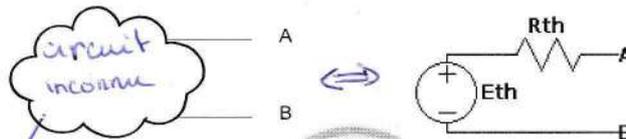
Layout by omglaz23, CC-BY



Rappels d'électronique : Théorème de Thévenin

- Tout circuit linéaire peut être converti en un générateur de Thévenin, avec :
 - E_{th} = tension de sortie à vide du circuit
 - R_{th} = résistance équivalente entre les deux points de sortie du circuit, avec les générateurs coupés
 - Génés de courant : $I = 0 \Rightarrow$ remplacés par circuits ouverts
 - Génés de tension : $V = 0 \Rightarrow$ remplacés par court-circuit

on ne connecte rien entre A et B



Layout by omglaz23, CC-BY

que des composant linéaire

On cherche à déterminer E_{th} et R_{th} .



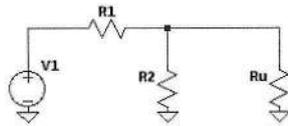
Rappels d'électronique : Théorème de Thévenin, méthode

- 1a/ Délimiter précisément "le circuit" à convertir. Il ne doit avoir que deux points dits "de sortie"
- 1b/ Calculer la tension entre les deux points de sortie du circuit, connectés "à rien d'autre" (ie : "à vide")
 - => c'est E_{th}
- 2a/ "Couper les générateurs"
 - Génés de courant => $I = 0$ => circuit ouvert
 - Génés de tension => $V = 0$ => court-circuit
- 2b/ Redessiner le circuit, générateurs coupés
- 2c/ Calculer la résistance équivalente vue entre les deux points de sortie du circuit à vide, génés coupés
 - => c'est R_{th}

Layout by emgje223, CC-BY

Rappels d'électronique : Théorème de Thévenin, exemple

- Remplacez V_1 , R_1 , R_2 par un générateur de Thévenin



Layout by emgje223, CC-BY

Rappels d'électronique : Théorème de Thévenin, exemple

Layout by omgjee223, CC-BY

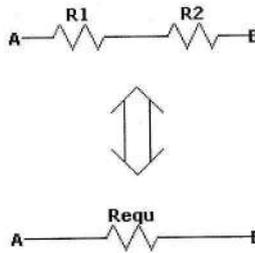
Rappels d'électronique : Théorème de Norton

- Il existe, demander à Wikipedia. Permet de convertir un circuit en 1 géné de Norton
- Pas au programme, car Thévenin est suffisant pour embrouiller correctement les étudiants
- Méthode plus facile :
 - Circuit → Thévenin
 - Thévenin → Norton

Layout by omgjee223, CC-BY

Rappels d'électronique : Résistances en série

- $Requ = R_1 + R_2$
- Plus de 2 en série ?
 - $Requ = R_1 + R_2 \dots + R_n$

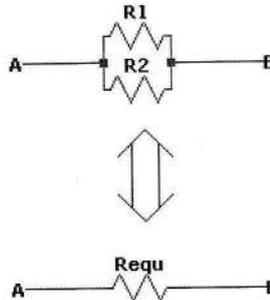


Layout by omgice223, CC-BY

Les résistances sont en // si chacun de leur pôle respectif sont relié entre eux -

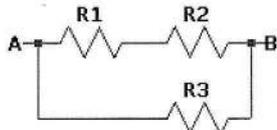
Rappels d'électronique : Résistances en parallèle

- $Requ = R_1 // R_2$
 - (notation pratique !)
- $Requ = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$
- Plus de 2 en parallèle ?
 - $1/Requ =$
 - (les admittances se somment)



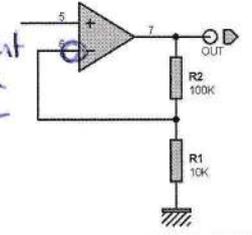
Layout by omgice223, CC-BY

Rappels d'électronique : Résistances PAC



*R1 et R2 en série
 $R_{eq} = R_1 + R_2$
 R_{eq} est en parallèle à R3*

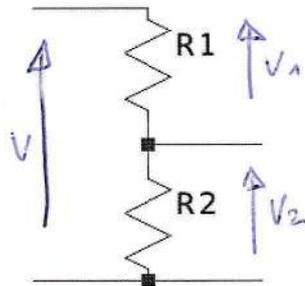
*Si ouvert
il est en
série*



Layout by omg1ez23, CC-BY

Rappels d'électronique : Pont diviseur de tension

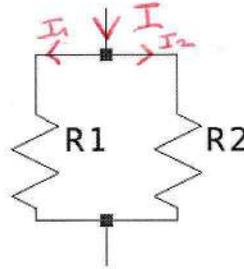
- $V_1 = V \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$
- $V_2 = V \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$
- $V = V_1 + V_2$
 - (loi des mailles !)



Layout by omg1ez23, CC-BY

Rappels d'électronique : Pont diviseur de courant

- $I_1 = I \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$
- $I_2 = I \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$
- $I = I_1 + I_2$
 - (loi des noeuds !)



Layout by omgice223, CC BY

Rappels d'électronique : Bilan

- Tension, courant, loi d'ohm
- Puissance, signe de la puissance, convention récepteur/émetteur
- Energie
- Géné de Thévenin et de Norton, formules de passage de l'un à l'autre
- Modélisation en géné de Thévenin
- Combinaisons de résistances
- Ponts diviseurs

Layout by omgice223, CC BY

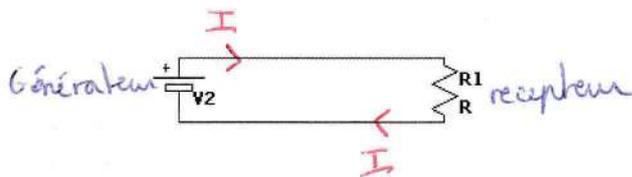
La transmission électrique : Sommaire

- Procédé de la transmission électrique
- Modélisation d'une transmission électrique
 - Modélisation électriques d'une ligne et de ses imperfections
 - La modélisation quadripôle
- Problématique d'atténuation
 - Causes, calculs d'atténuation
 - Le SNR
 - L'adaptation d'impédance
 - Le décibel
- Problématique de filtrage passe-bas
 - Causes
 - Effets

Layout by emajice223, CC-BY

La transmission contraintes électriques

- Le courant électrique circule en circuit fermé
 - 1 Aller
 - 1 Retour



Layout by emajice223, CC-BY

La transmission d'énergie

- Générateur
- Ligne de transmission
- Récepteur



$V_e/V_i =$ tension d'entrée
 $V_s/V_o =$ tension de sortie

$$I = \frac{U}{R_u}$$

Layout by omg/ce23, CC-BY

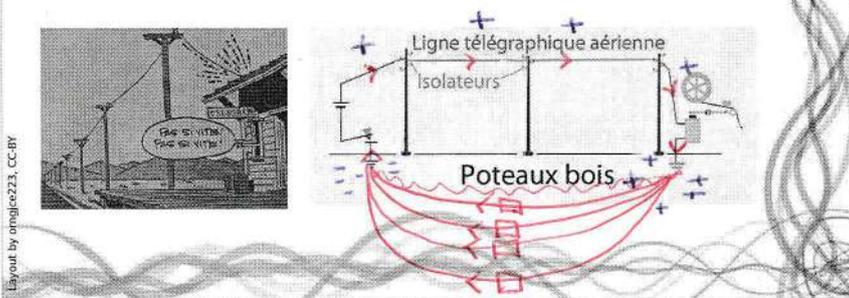
La transmission d'information

- Transmettre de l'énergie = transmettre une information
 - Présence / absence
 - Amplitude
 - Fréquence
 - ...
- Nécessité d'un codage information \rightarrow énergie
 - Codage binaire
 - Morse
 - Signal analogique
 - Modulation
 - ...

Layout by omg/ce23, CC-BY

La transmission : La terre comme fil de retour

- Fil aller + fil retour = cher !
- Terre = conducteur (quelques ohms)
 - Division par deux de la quantité de fil de cuivre



Grâce au courant de forme parallèle dans la Terre

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots + \frac{1}{R_n}$$

La transmission : Bruit électromagnétique

- Existence d'un bruit électromagnétique ambiant
- Le courant induit dans une boucle de courant est proportionnel à :
 - La dérivée du champ magnétique
 - La surface de la boucle
- Conclusion :
 - Pour avoir moins de bruit, il faut minimiser la surface de boucle
 - A puissance égale, les HF sont plus parasitantes que les BF

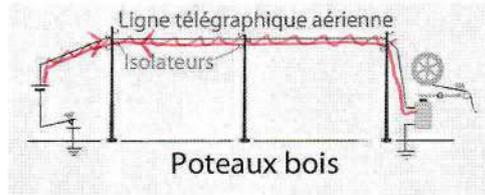
Si champs magnétique dans une boucle
le courant va être proportionnel à la surface
de la boucle et dérivé du champ magnétique

$$I \propto S |B|$$

Les champs magnétique crée du bruit.
Sur la surface de la ligne correspondant à
la ligne - minimiser le bruit → réduire
la surface.

La transmission : Réduction du bruit électromagnétique

- 1 fil avec retour par la terre

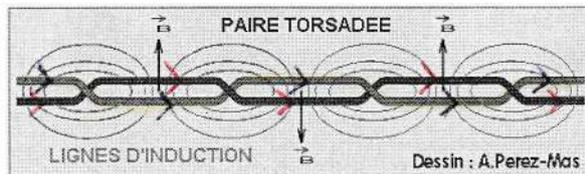


- 2 fils proches (paire différentielle)

*On mesure la différence de tension entre les 2 fils -
paire différentielle - on torsade les 2 fils -*

La transmission : Réduction du bruit électromagnétique

- Paire différentielle torsadée
 - Sens des surfaces alterné d'une boucle à l'autre
 - => compensation des courants induits
 - Très résistant aux perturbations
 - Très faible émission de champs électromagnétiques



*+ les torsades sont sériees + efficace
↳ - de bruit
↳ compensation courant*

La transmission : pertes par effet Joule

- Tout conducteur est résistif

Matériau	Conductivité thermique (W / m . °C)	Coefficient de dilatation (ppm / °C)	Résistivité électrique (ohms . cm)	densité
Aluminium	237	23,5	2,82	2,87
Cuivre	401	16,6	1,68	8,95
Cu-Ni 15/85	184	6,6		8,9
Cu-Ni 30/70	230	6		17,4
Dural (Fe-Ni-Al)	105	5,8	18	2,7
Fer	58,6	11,9	12	7,8
Invar (Fe-Ni-36%)	13	0,6 + 1,2	80	8,1
Kovar (Fe-Ni-Co)	36,7	5,04	39	8,37
Inconel (Cu-Ni-Zn-Nb)	112	16,2	7	8,95
Monel	140	1,5	5,5	10,22

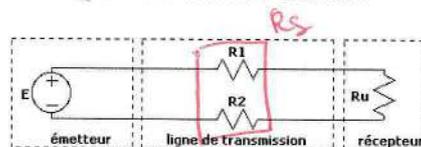
Caractéristiques des métaux les plus courants

- Sur une longue distance : un fil peut être très résistif
- Perte de puissance : $P = R \cdot I^2$

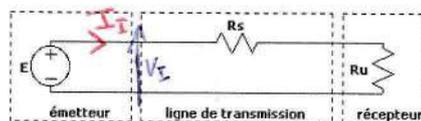
Layout by omigice223, CC-BY

La transmission : pertes par effet Joule

- Modélisation de la résistance du fil :



- Equivalent à :



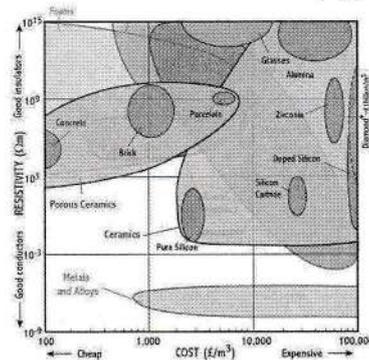
Layout by omigice223, CC-BY

Vue du generateur c'est 2 schemas sont equivalent.

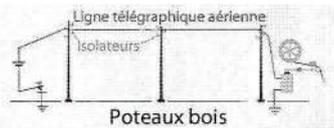
$$R_s = R_1 + R_2$$

La transmission : pertes par fuite de courant

- Tout isolant présente des fuites de courant
- Fuites de courant dans l'isolant
 - => le courant envoyé dans la ligne n'arrive pas à 100% au bout



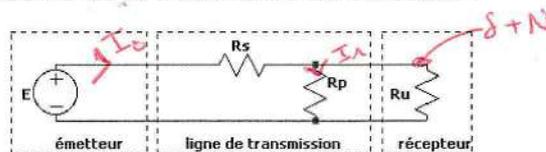
Issu de "Material selection and processing"
<http://www-materials.eng.cam.ac.uk/mpsite/>



Layout by orngice223, CC BY

La transmission : pertes par fuites de courant

- Modélisation de la résistance de l'isolant :



- Notes

- Sauf exceptions, le courant de fuite reste faible (quelques nA, μA, mA) devant le courant nominal dans la ligne

$R_p = \text{résistance poteau}$

Layout by orngice223, CC BY

$$I_0 = I_n - I_1 \dots - I_n$$

$$R_p = R_{p1} \# R_{p2} \dots \# R_{pn}$$

$$SNR = \frac{S}{N}$$

$$R_p \gg R_s$$

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R_p}{R_p + R_s} \quad (\text{Sans } R_u)$$

$$V_{out} < 1$$

La transmission : la qualité de transmission : le SNR

- $SNR = P_{\text{signal}} / P_{\text{noise}}$
- $SNR_{\text{dB}} = 10 \cdot \log_{10}(P_{\text{signal}}/P_{\text{noise}})$
- Mesure le signal utile par rapport au bruit qui le perturbe
- A titre indicatif :
 - Téléphone : 20-40dB
 - Radio FM : 30-60dB
 - CD : 70-96dB
 - Hifi : 80-120dB

Layout by omg1ee23, CC BY

0dB \Rightarrow 1 SNR
autant de S que de N -

$$V_{\text{ut}} = V_{\text{In}} \times \frac{R_p}{R_p + R_s}$$

Le signal diminue au court de la distance

La transmission : conséquence des pertes

- Les pertes de puissances impliquent :
 - Baisse de la puissance reçue par le récepteur
 - A bruit identique : dégradation du SNR
 - Existence d'une distance maximale d'émission
- Pour compenser les effets dus aux pertes :
 - Niveau plus fort en sortie
 - Amplification, régénération au milieu de la ligne
 - Revient à "aller moins loin"
 - Récepteur plus sensible

Layout by omg1ee23, CC BY

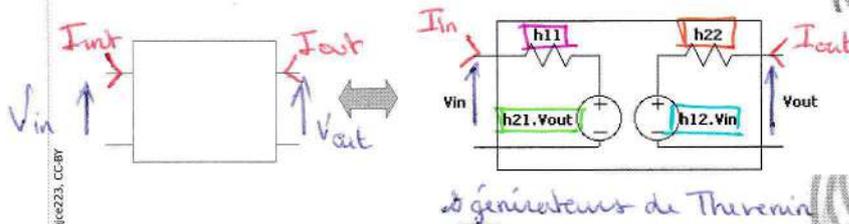
Pr compenser les pertes :

coût cher

- émission + fort en entrée
- division de la ligne en deux et placer au milieu un empuissant de signal
- avoir un récepteur qui puçait le faible signal récepteur de meilleur qualité -

La transmission : Modélisation en quadripôle

- Tout quadripôle linéaire peut être modélisé par le modèle complet (ou "impédances") du quadripôle
 - Appelé également "paramètres en s" ou "en h"
 - Par convention : courants entrants



Bilan

G: Gain

$$V_o = G_v \cdot V_{in}$$

$$G_v = \frac{V_o}{V_{in}}$$

$$P_o = G_p \cdot P_{in}$$

$$G_p = \frac{P_o}{P_{in}}$$

$$G_{dB} = 20 \log(G_v)$$

$$G_{dB} = 10 \log(G_p) = 10 \log(G_c)$$

G_v : gain tension

G_p : gain puissance

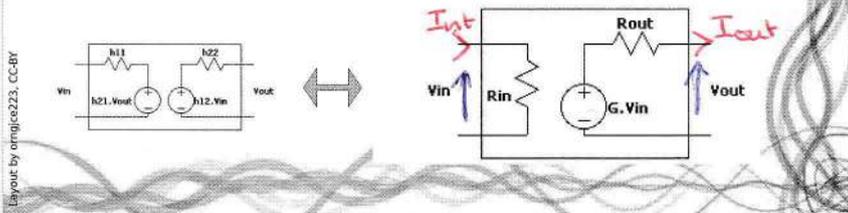
G_c : gain courant

La transmission : Modélisation en quadripôle

- Détermination des coefficients un à un, en masquant les doubles effets :
 - h_{11} = V_{in} / I_{in} , avec $V_{out} = 0$
 - Impédance d'entrée
 - h_{12} = V_{out} / V_{in} , avec $I_{out} = 0$
 - Gain direct (forward gain)
 - h_{22} = V_{out} / I_{out} , avec $V_{in} = 0$
 - Impédance de sortie
 - h_{21} = V_{in} / V_{out} , avec $I_{in} = 0$
 - Gain inverse (reverse gain)

La transmission : Modélisation simplifiée du quadripôle

- Modèle simplifié
 - Impédance d'entrée
 - Géné de Thévenin en sortie
 - Par convention : courants sortants
- Valable uniquement si $h_{21} \ll h_{12}$
 - Ok pour la majorité des composants actifs modernes



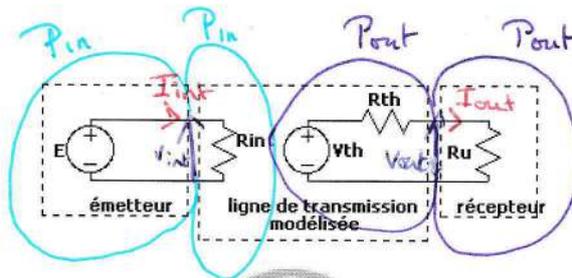
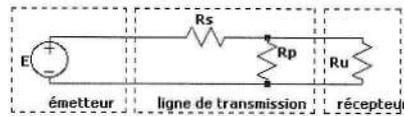
Iout sort - Convent^o générateur

La transmission : Méthode de modélisation

- La modélisation d'un quadripôle Q en un quadripôle QM consiste à :
 - Identifier R_{in} , G , R_{out}
 - De telle manière que le modèle de quadripôle QM soit exactement équivalent au quadripôle Q, c'est-à-dire :
 - L'entrée de QM est équivalente à l'entrée de Q
 - La sortie de QM est équivalente à la sortie de Q
- Normalement, il faudrait utiliser le modèle complet
 - On utilise quand même le modèle simplifié
 - ... mais il n'est vrai que pour une configuration donnée

La transmission : Modélisation quadripôle de la chaîne

ou ligne de
Transmission



Layout by omgice223, CC-BY

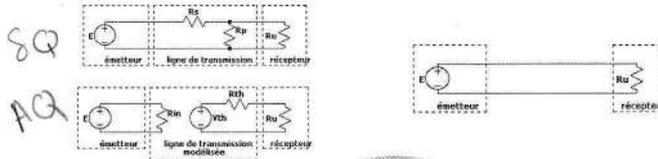
La transmission : caractéristiques d'un quadripôle

- Facteur de transfert en tension (gain en tension)
 - $G_v = V_{out} / V_{in}$
- Facteur de transfert en courant (gain en courant)
 - $G_i = I_{out} / I_{in}$
- Facteur de transfert intrinsèque en puissance (rendement)
 - Puissance fournie en sortie / puissance consommée en entrée
 - $\eta = P_{out} / P_{in} = (V_{out} \cdot I_{out}) / (V_{in} \cdot I_{in})$

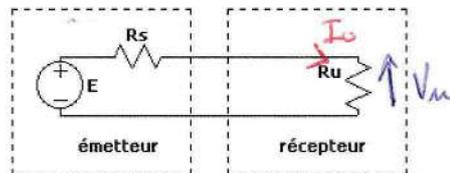
Layout by omgice223, CC-BY

La transmission : caractéristiques d'un quadripôle

- Dans une chaîne :
 - G_v, G_i, η peuvent dépendre d'autres éléments de la chaîne
- Gain en puissance apporté par le quadripôle
 - $G_p = P_{out_avec_quadripôle} / P_{out_sans_quadripôle}$



La transmission : l'adaptation d'impédance



- Quel doit être la valeur de R_u pour extraire le maximum de puissance du générateur ?

$$P_{ex} = V_u \times I_u$$

La transmission : l'adaptation d'impédance

- $R_u = \infty$ (ou bien $R_u \gg R_s$)

- $I_u = V_u / R_u = 0$

- $\Rightarrow P_u = V_u \times I_u = 0$

- $R_u = 0$ (ou bien $R_u \ll R_s$)

- $V_u = R_u \times I_u = 0$

- $\Rightarrow P_u = 0$

- Cas général :

- $V_u = E \cdot R_u / (R_s + R_u)$

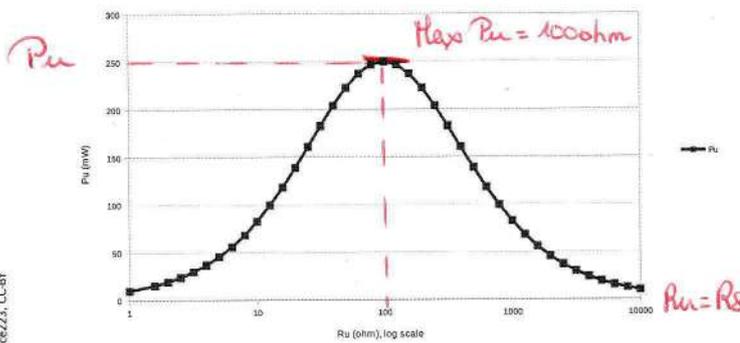
- $P_u = V_u^2 / R_u = \dots = E^2 \cdot R_u / (R_s + R_u)^2 = \frac{E^2}{R_u} \left(\frac{R_u}{R_s + R_u} \right)^2$

- Le maximum de P_u est atteint pour $R_u = R_s$

Layout by omg1ce223, CC-BY

La transmission : l'adaptation d'impédance

$P_u(R_u)$, @E=10V, @R_s=100ohm



Layout by omg1ce223, CC-BY

$R_u = R_s$ les impédances sont adaptées

La transmission : l'adaptation d'impédance

- Maximisation de $P_u \Rightarrow R_u = R_s \Leftrightarrow$ Impédances adaptées
- Mesure de l'adaptation d'impédance : ROS (Ratio d'Ondes Stationnaires)
 - $ROS = \max(Z_s / Z_u ; Z_u / Z_s)$
 - Parfaitement adapté $\Rightarrow ROS = 1$
 - P_u maximal
 - Mal adapté $\Rightarrow ROS$ augmente ($ROS > 2 =$ "mal" adapté)
 - P_u baisse par rapport à ce qu'il pourrait être
 - Totalemment désadapté $\Rightarrow ROS \rightarrow$ infini
 - P_u minimal, puissance dite "réfléchie"
- Ne pas confondre avec TOS
- http://fr.wikipedia.org/wiki/Rapport_d%27onde_stationnaire

Layout by orngie223, CC-BY

Ex. Ordre de Grandeur

La transmission : chiffrage des puissances en jeu

- Emission :
 - Téléphone filaire : 1mW à 10mW
 - Wifi, GSM, talkie walkie : ~0.1 à 3W
 - Emission radio AM/FM : 100W, 1kW
- Réception
 - Téléphone filaire : 0.1mW à 10mW
 - GSM, Wifi : quelques μ W
 - GPS : jusqu'à 10^{-18} W = 1aW
- Palette des puissances difficile à représenter sur un seul intervalle

Layout by orngie223, CC-BY

$$20 \text{ dBm} = 10$$

$$10 \log(P_{\text{mW}}) = +20$$

$$\log(P_{\text{mW}}) = +2$$

$$P_{\text{mW}} = 10^2 = 100 \text{ mW}$$



La transmission le Bel

- Fonctionnement du Bel (Graham Bell) :
 - Au lieu de mesurer une puissance par "la valeur de sa puissance" (donc : en Watt)
 - On la mesure par "le \log_{10} de la valeur de sa puissance"
- Exemple : le Bel
 - $1W \Rightarrow 0 \text{ Bel}$
 - $10mW \Rightarrow -2 \text{ Bel}$
 - $100W \Rightarrow 2 \text{ Bel}$
 - $1\mu W \Rightarrow 10^{-6} W = -6 \text{ Bel}$
 - $1nW \Rightarrow 10^{-9} W = -9 \text{ Bel}$
- Si P est multiplié par 10 $\Rightarrow P_{\text{Bel}}$ augmente de 1

$$1 \text{ Bel} = \log_{10} \left(\frac{P}{1W} \right)$$

en watt

⊕ Bel rapport au nbr de zéro

$$P_1 = 10 \times P$$

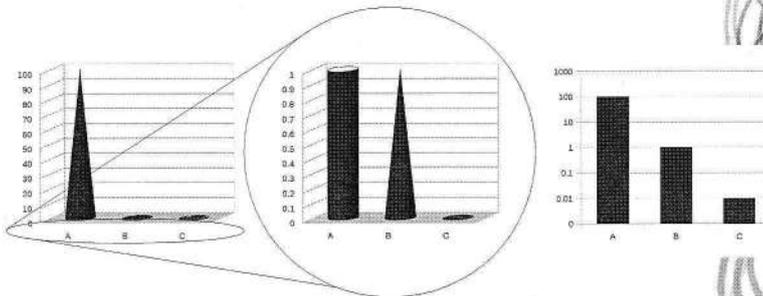
$$\log_{10}(P_1) = \log_{10}(10P)$$

$$= \log_{10}(10) + \log_{10}(P)$$

$$P_{1-\text{Bel}} = 1 + P_{-\text{Bel}}$$

La transmission l'échelle logarithmique

- Avantage : pouvoir représenter sur une même échelle des grandeurs d'ordres très disparates



La transmission le décibel de puissance

- 1 décibel = 1/10ème de Bel
 - 10dB = 1 Bel
 - 1dB = 0,1 Bel
- Mathématiquement :
 - $P_{dBW} = 10 \cdot \log_{10}(P_{watt})$
 - 1W \Rightarrow 0 Bel = 0 dBW
 - 10mW \Rightarrow -2 Bel = -20 dBW
 - 100W \Rightarrow
 - 1 μ W \Rightarrow
 - 1nW \Rightarrow

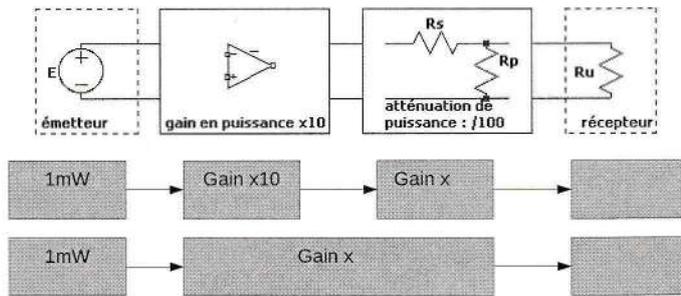
Layout by orngce223, CC-BY

La transmission le décibel de puissance

- Le dBm = dB_miliWatt
 - $P_{dBm} = 10 \cdot \log_{10}(P_{miliWatt})$
 - 1mW = 0 dBm
 - 10W = 10^4 mW = $10 \log(10^4) = 40$ dBm
 - 1 μ W = 10^{-3} mW = -30 dBm
- Pour des gains (ratios) de puissance : le dB
 - $G_{dB} = 10 \cdot \log_{10}(G)$
 - Gain de x1 =
 - Gain de x100 =
 - Gain de x0.01 =
 - Atténuation par 1000 =

Layout by orngce223, CC-BY

La transmission : les gains dans une chaîne



- Les gains réels (P_{out}/P_{in}) se multiplient
- Les gains en dB : $10 \cdot \log_{10}(P_{out}/P_{in})$ s'additionnent
 - Normal : $\log(a \cdot b) = \log(a) + \log(b)$

Layout by emjice223, CC-BY

La transmission : le décibel de tension

- $P = U^2 / R$
 - Si U est multiplié par 10, alors :
 - P (Watt) est multiplié par 100
 - P (dBW) augmente de 20dB
 - Donc : $U_{dBV} = 20 \cdot \log_{10}(U_{Volt})$
- Exemple (supposons que $R = 1 \text{ ohm}$)
 - $1V \Rightarrow 0dBV$
 - $10V \Rightarrow 20dBV$
 - $1mV \Rightarrow -60dBV$
 - $1000V \Rightarrow 60dBV$

$$\begin{aligned}
 1W &= 0dBW \\
 100W &= 20dBW \\
 10^{-6}W &= -60dBW \\
 10^6W &= 60dBW
 \end{aligned}$$

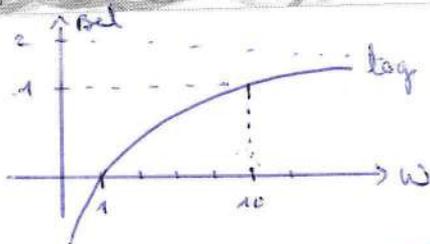
$$\begin{aligned}
 U_1 &= 10V \\
 P_1 &= \frac{U_1^2}{R} = \frac{(10V)^2}{R} = 100 \frac{V^2}{R} = 100P
 \end{aligned}$$

Layout by emjice223, CC-BY

La transmission : le décibel de courant

- $P = R \cdot I^2$
 - Si I est multiplié par 10, alors :
 - P (Watt) est multiplié par 100
 - P (dBW) augmente de 20dB
 - Donc : $I_{dB} = 20 \cdot \log_{10}(I_{\text{ampère}})$
- Exemple (supposons que $R = 1 \text{ ohm}$)
 - $1A \Rightarrow 0\text{dB} \Rightarrow 1 \text{ W}$
 - $10A \Rightarrow 20\text{dB} \Rightarrow 100 \text{ W}$
 - $1\text{mA} \Rightarrow -60\text{dB} \Rightarrow 10^{-6} \text{ W}$
 - $1\mu A \Rightarrow -120\text{dB} \Rightarrow 10^{-12} \text{ W}$

Layout by omgic223, CC-BY



La transmission Bilan sur le dB

- Puissances, gains (ratios) de puissance
 - $P_{dB} = 10 \cdot \log_{10}(P)$
 - $G_{dB} = 10 \cdot \log_{10}(G)$
- Tension, courant, gains en tension ou en courant
 - $U_{dB} = 20 \cdot \log_{10}(U)$
 - $I_{dB} = 20 \cdot \log_{10}(I)$
 - $G_{dB} = 20 \cdot \log_{10}(G)$

Layout by omgic223, CC-BY

La transmission Bilan sur le dB

- Si $G_{dB} > 1$
 - Augmentation de puissance ("gain" de puissance)
- Si $G_{dB} < 1$
 - Diminution de puissance (atténuation)
- Dans une chaîne
 - Les gains en termes réels se multiplient
 - Les gains en dB s'additionnent

Layout by ormjce223, CC-BY

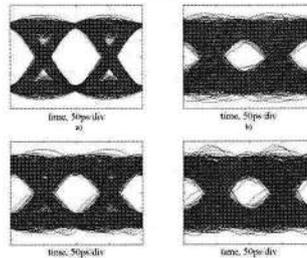
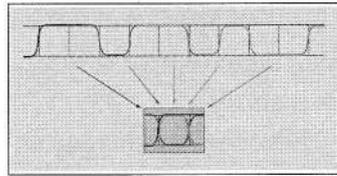
La transmission Bilan sur le dB

- Puissances, gains (ratios) de puissance
 - $P_{dB} = 10 \cdot \log_{10}(P)$
 - $G_{dB} = 10 \cdot \log_{10}(G)$
- Tension, courant, gains en tension ou en courant
 - $U_{dB} = 20 \cdot \log_{10}(U)$
 - $I_{dB} = 20 \cdot \log_{10}(I)$
 - $G_{dB} = 20 \cdot \log_{10}(G)$

Layout by ormjce223, CC-BY

La transmission impact du filtrage de ligne

- Diagramme de l'oeil = indicateur de mesure de la qualité d'une ligne
- Filtrage passe-bas =>
 - Dégradation du diagramme de l'oeil
- Pour compenser ce filtrage passe-bas :
 - Equalisation
 - Câbles faibles pertes (faible R) => plus gros
 - Aller moins loin (répéteurs)



Layout by orngje223, CC-BY

<http://www.ni.com/white-paper/14227/en>

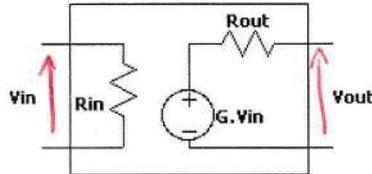
L'amplification : Sommaire

- **But** : augmenter la puissance (courant ou tension ou les deux) d'un signal
- Exemples :
 - Amplification forte puissance avant émission
 - Amplification faible puissance après réception
 - Isolation entrée -sortie
- Domaines d'application :
 - Audio
 - Radio
 - Câble de données
 - Capteurs
 - Actionneurs

Layout by orngje223, CC-BY

L'amplification Ampli V-V

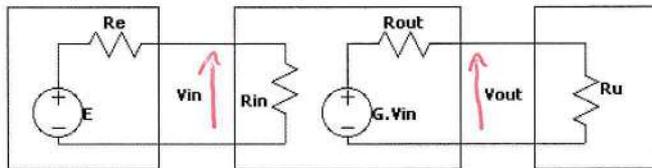
- **Ampli à entrée en tension et sortie en tension**
 - But : V_{out} proportionnel à V_{in}
 - R_{in} = résistance d'entrée
 - Générateur de Thévenin "commandé en tension"
 - G = Gain
 - R_{out} = résistance de sortie (ohm)



$$\Omega = V/A$$

L'amplification L'ampli V-V idéal

- Environnement de l'ampli



- Caractéristiques d'un ampli tension-tension "idéal"
 - Gain inverse (h_{21}) faible
 - V_{in} ne dépend que de E
 - V_{in} ne dépend pas de R_e
 - V_{out} ne dépend pas de R_u

L'amplification

L'ampli idéal : l'entrée

- En entrée : un pont diviseur
 - $V_{in} = E \cdot R_{in} / (R_{in} + R_e)$
 - $\Rightarrow V_{in}$ dépend de R_e !!!
 - Sauf si $R_{in} = \infty$
- Donc : un ampli idéal a un $R_{in} = \infty$ Ainsi :
 - $I_{in} = 0$
 - $P_{in} = 0$
 - Consomme peu

Rendement ∞ si $R_{in} = \infty$

$$V_{in} = E \frac{1}{1 + \frac{R_e}{R_{in}}} = E = \frac{1}{1 + \frac{R_e}{\infty}}$$
$$V_{in} = E.$$

Layout by omajce223, CC BY

L'amplification

L'ampli idéal : la sortie

- En sortie : un pont diviseur
 - $V_{out} = G \cdot V_{in} \cdot R_u / (R_u + R_{out})$
 - $\Rightarrow V_{out}$ dépend de R_u !!!
 - Sauf si $R_{out} = 0$
- Donc : un ampli idéal a un $R_{out} = 0$ Ainsi :
 - La puissance "perdue" sur R_{out} est égale à
 - $P_{R_{out}} = R_{out} \times I_{out}^2 = 0$

$$V_{out} = G \cdot V_{in}$$

Layout by omajce223, CC BY

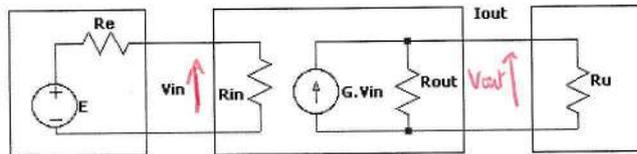
L'amplification : les défauts

- Ampli parfait : $V_{out} = G \cdot V_{in}$
- Problème n°1 : réponse en fréquence non plate
 - Certaines fréquences trop amplifiées, d'autres pas assez
 - Se voit sur le
- Problème n°2 : amplification non linéaire (distorsion)
 - $V_{out} = G \cdot V_{in} + G_2 \cdot V_{in}^2 + G_3 \cdot V_{in}^3$
 - Signaux faibles bien amplifiés, mais signaux forts pas assez amplifiés
 - Saturation au-delà d'un certain niveau
 - Génération d'harmoniques
- Problème n°3 : ajout de bruit
 - Fréquences parasites ajoutées
 - Bruit blanc ajouté

Layout by omgjez23, CC-BY

L'amplification Ampli V-I

- Ampli à entrée en tension et sortie en courant
 - But : I_{out} proportionnel à V_{in}
 - R_{in} = résistance d'entrée
 - Générateur de Norton "commandé en tension"
 - G = Transconductance ($\frac{I_o}{V_{in}} = \frac{A}{V} = \text{mho} = \text{Siemens (S)}$)
 - R_{out} = résistance de sortie

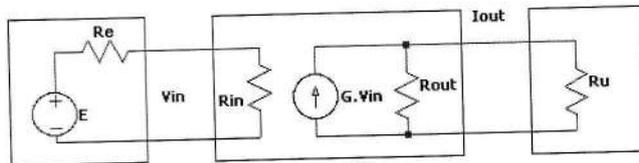


Layout by omgjez23, CC-BY

L'amplification Ampli V-I idéal

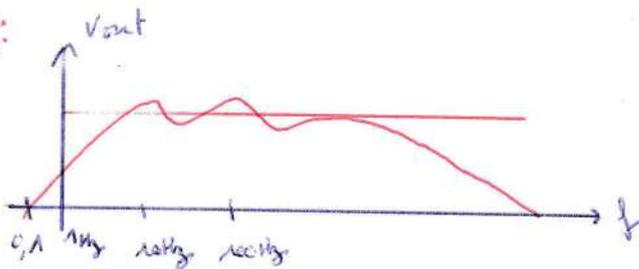
● Caractéristiques d'un ampli tension-courant "idéal"

- Vin ne dépend que de E
 - => Rin = ∞
- Iout ne dépend pas de Ru
 - => Rout = ∞

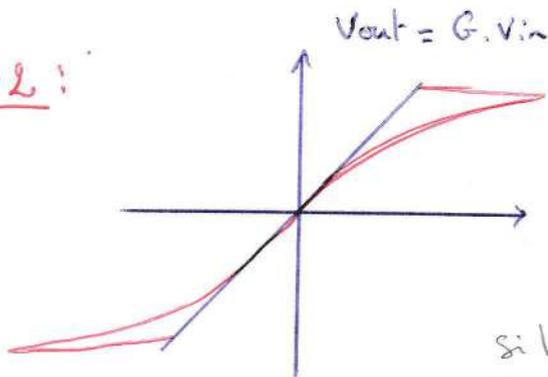


$$I_{out} = I \frac{R_{out}}{R_u + R_{out}}$$

Pb n°1:



Pb n°2:



Saturation

$$\hookrightarrow V_{out} = G \cdot V_{in} + G_3 \cdot V_{in}^3 + G_5 \cdot V_{in}^5$$

polynôme qui dépend de Vin

$$V_{in} = A_0 \sin(\omega t)$$

si linéaire : $V_{out} = G \cdot V_{in} = G \cdot A_0 \sin(\omega t)$

Non linéaire : $V_{out} = G_1 \cdot V_{in} + G_2 \cdot V_{in}^2 + G_3 \cdot V_{in}^3$
 $= G_1 \cdot V_{in} + G_2 A_0^2 \sin^2(\omega t) + G_3 A_0^3 \frac{1 + \sin(2\omega t)}{2}$

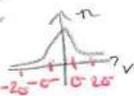
↳ génère des fréquences harmoniques -

Pb n°3:



Bruit blanc

probabilité de la fréquence élevée, est représentée sur une gaussienne



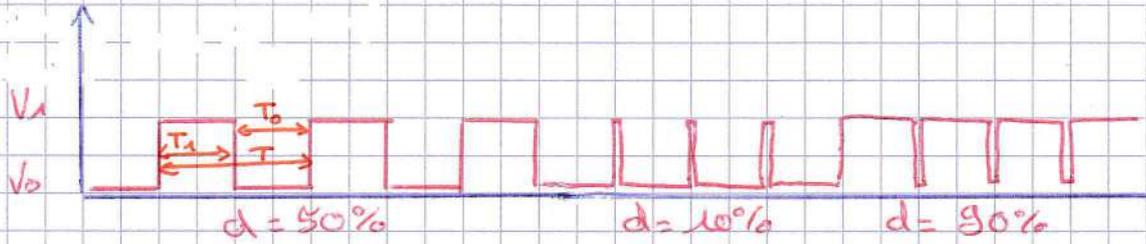
Bruit blanc dû au bruit thermique -

$$P_n = 4 k T R B_w$$

puissance du bruit thermique

Système à la fonction.

d'amplification Technologique

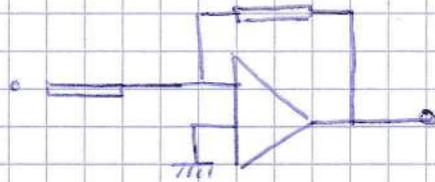


$d = \text{Amplitude duty cycle } d = \frac{T_1}{T}$

MLI: modulation par largeur d'impulsion
 PWM: pulse width modulation

fonction AOP

ampli inverseur
 $V_{out} = -V_{in} \cdot R_2/R_1$

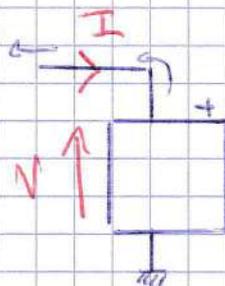
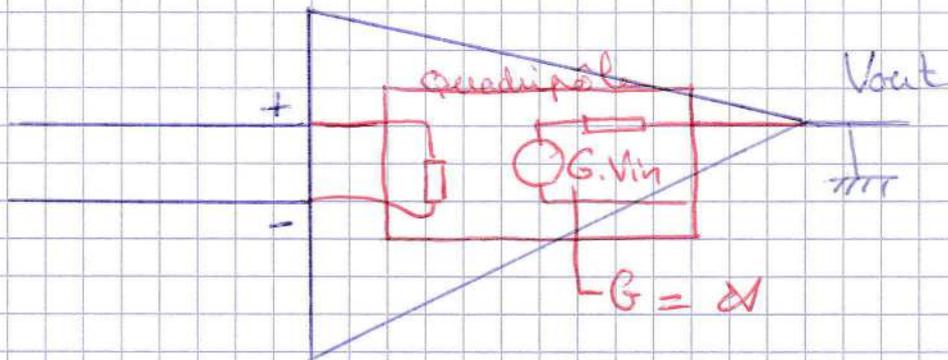


Suivre
 $V_{out} = V_{in}$

Somme
 $V_{out} = V_a + V_b$

différence
 $V_{out} = V_a - V_b$

Conversion $u \rightarrow I$
 $I_{out} = G \cdot V_{in}$



$$V = R I$$

$$\text{Si } V > 0 \Rightarrow I < 0$$

Résistance négative, permet d'imposer de une ligne de transmission



pour une R négative besoin d'un ampli op.

de Filtrage, pulsation, fréquence

Fréquence
 $f = \frac{n}{dt}$, unité SI = Hz ou s^{-1}

- 5 fois par s:
- 6 fois par min: $6/60s = 0,1 s^{-1} = 0,1 Hz$

Pulsation = fréquence angulaire
 $\omega = d\phi / dt$, unité SI = rad/s

- 5 fois par s: $\omega = 5 \times 2\pi = 10 \text{ rad/s}$
- 6 fois par min: $\omega = 12\pi / 60s = 0,2\pi \text{ rad/s}$

$\omega = 2\pi f$ ou bien $f = \frac{\omega}{2\pi}$

de Filtrage, Intro au spectre

Def spectre: H signal périodique...

Filtre Introduction

filtre = quadripôle
 1 entrée sur 2 pôles
 1 sortie sur 2 pôles
 facteur de transfert (gain)

But filtrage app gain diff en fct° fréquence d'entrée

Caractérisation du filtrage

$H(j\omega) = V_{out} / V_{in}$
 Var de Laplace: $p = j\omega$

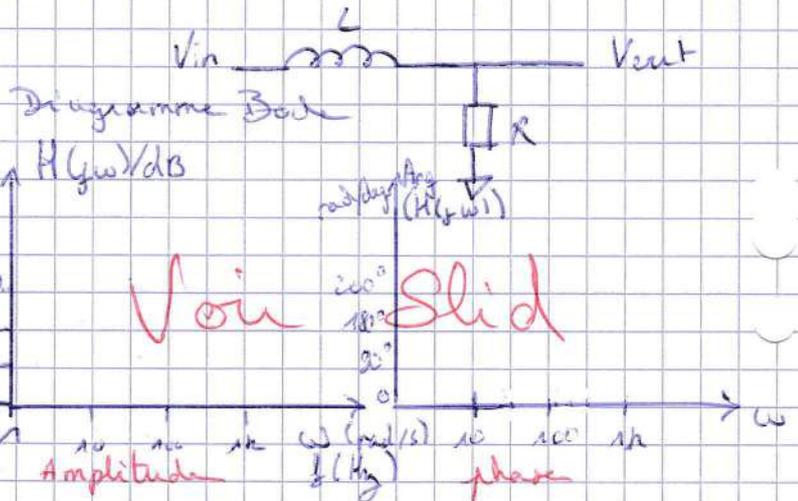
V_{out} / V_{in} en considérant les impédances complexes
 - condensateur $Z_C = 1 / j\omega C$
 - inductance $Z_L = j\omega L$
 - Résistance $Z_R = R$

$V_{out} = V_{in} \times \frac{Z_R}{Z_R + Z_L}$

$H(j\omega) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R}{R + j\omega L}$

H est un nbr complexe

abscisse = ω ou axe lg



cut-off frequency = fréquence de coupure

fréquence de coupure ω_c ou f_c

A la fréquence de coupure -3dB. pr filtre 1^{er} ordre

pende = 1 → 1h, dB/decade slope = -20dB/decade

+ en augmente la fréquence → les dB diminuent
1decade

Gain de 0dB = 1 Val sortie = Val entrée

pass band - Cut Stop band

a partir de la fréquence de coupure, le Gain diminue

$$G = 0,1$$

$$G_{dB} = 20 \log(0,1) = -20 \text{ dB}$$

$$G = 0,01$$

$$G_{dB} = -40 \text{ dB}$$

Autre Caractéristique

Bande passante: largeur de bande que le filtre laisse passer
fréquence sup -3dB

Bande coupée: bande de fréquence que le filtre atténue

App math.

• En temporel en régime AC: $V_{out}(\omega) = H(j\omega) \cdot V_{in}(\omega)$

• En spectral s - $V_{out} = \text{Bode}(H(j\omega)) \cdot s \cdot v_{in}$



Ex filtre passe-bas

$$H(j\omega) = V_{out}/V_{in} = R / (R + jL\omega) = 1 / (1 + d(L/R)\omega)$$

• Quand $\omega \rightarrow 0$
• $|H(j\omega)| \rightarrow 1$

$$f \uparrow \rightarrow G \rightarrow -\infty$$

• Quand $\omega \rightarrow \infty$
• $|H(j\omega)| \rightarrow 0$

• Quand $\omega = R/L$

$$|H(j\omega)| \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,7 \rightarrow -3 \text{ dB}$$

Rmq: pas fréquence $\omega \rightarrow 0$ on laisse passer les basses fréquence
coupure $\omega = R/L$ on coupe les hautes fréquence
 $\omega \rightarrow \infty$ on atténue les hautes fréquence

$$Z_C = 1/y \cdot C \cdot \omega$$

BF Quand $\omega \rightarrow 0$
 $Z_C \rightarrow +\infty$ 
 $V_{out} = 0$

HF Quand $\omega \rightarrow \infty$ 
 $Z_C \rightarrow 0$
 $V_{out} = V_{in}$

C'est un filtre
passe Haut

BF $\omega \rightarrow 0$
 $Z_L = jL\omega \rightarrow 0$ 

HF $\omega \rightarrow \infty$
 $Z_L = jL\omega = +\infty$ 

BF $V_{out} = V_{in}$
HF $V_{out} = 0$ } passe-bas