

Électronique

Cours 1

Introduction

Électronique

- L'électronique est devenue omniprésente
 - Ordinateurs à la maison
 - Téléphone cellulaire
 - ...
- Même les produits non-électronique sont devenus électroniques:
 - Voiture
 - Cuisinière
 - ...

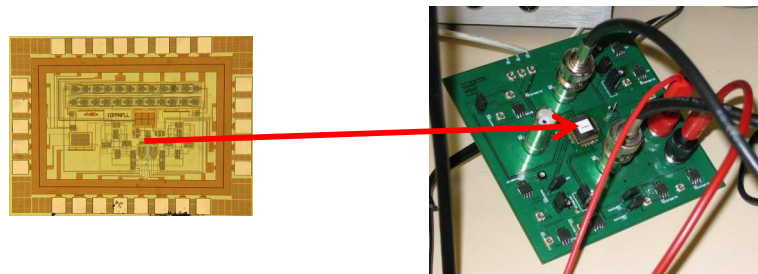
Électronique

- Commençons par faire la distinction entre 2 sortes d'électronique:

- Macro-électronique (ou "électronique"), où la conception se fait à base de composants discrets



- Micro-électronique, où la conception se fait pour que tout se retrouve sur du silicium

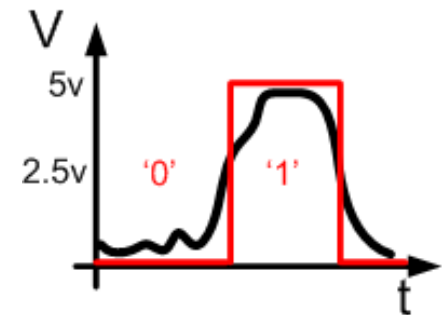


Électronique

- On va aussi faire la distinction entre plusieurs genres d'électronique:
 - Numérique: Où on y voit que des '1' et '0'
 - Analogique: Où une plage de tension et courant sont disponibles
 - Mixte: Où on y retrouve les 2 formats

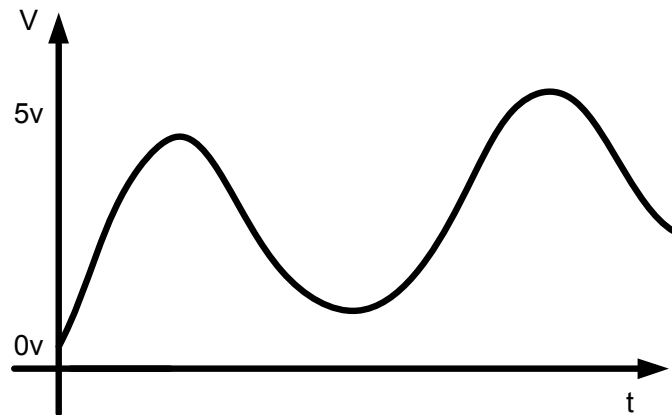
Numérique

- Pour un circuit numérique, on INTERPRÈTE les tensions:
 - Une certaine plage de tension sera '1'
 - Une certaine plage de tension sera '0'
- Par exemple:
 - Source de 5v (0v et 5v)
 - On va dire que 2.5v à 5v sera '1'
 - On va dire que 0v à 2.5v sera '0'



Analogique

- Un circuit analogique va utiliser toute une plage de tension
- On va s'intéresser à la valeur "exacte" du voltage



Mixte

- Dans le mixte:
 - Certaines parties numériques
 - Certaines parties analogiques
- Exemple:
 - Convertisseurs analogique-à-numérique
 - Convertisseurs numérique-à-analogique

Qu'est-ce qui est meilleur?

- Les nouveaux produits utilisent tous le mot numérique:
 - TV avec traitement d'image numérique
 - Caméra avec processeur vidéo numérique
 - Films enregistrés en numérique
 - ...
- Est-ce que ça veut dire que “numérique” est meilleur?

Qu'est-ce qui est meilleur?

- Commençons par dire “oui” (pas vrai)
 - Plus robuste au bruit
 - Garde l'information sans dégénérer
 - Habituellement plus petit, plus rapide et consomme moins de puissance
 - Habituellement plus facile à concevoir
- “Migration” vers le numérique
 - Filtres numériques
 - Asservissement numérique

Qu'est-ce qui est meilleur?

- MAIS! Le monde extérieur n'est pas numérique.
 - La tension qui sort d'un micro n'est pas 0 ou 1
 - Alors, je ne peux pas utiliser un système numérique directement
 - Il faut amplifier, échantillonner et quantifier avant: toutes des fonctions analogiques
- Donc, on a besoin de l'analogique/mixte

6GEI300: Vue d'ensemble

- On va parler des systèmes numériques et analogiques
- On va parler de la macro et de la microélectronique
- Sert d'initiation aux cours d'électronique plus avancés

6GEI300: Vue d'ensemble

- Buts du cours:
 - Comprendre le fonctionnement des composantes actives de base (diodes, transistors bipolaires et CMOS)
 - Apprendre à analyser le comportement de circuits simples
 - Développer des techniques pour implanter, vérifier et déboguer des circuits simples

6GEI300: Vue d'ensemble

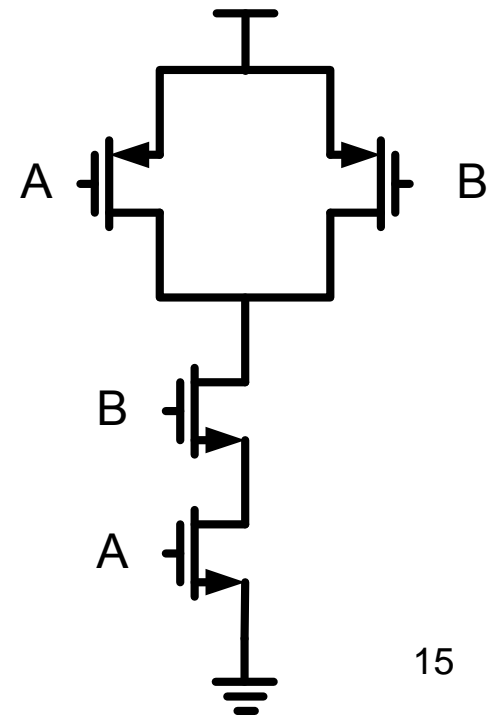
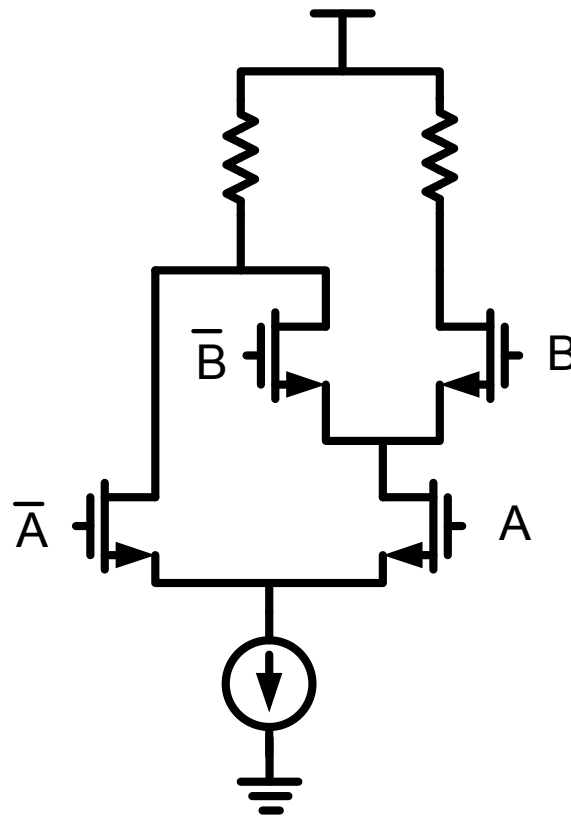
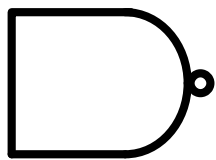
- Pour analyser ces circuits, on va les modéliser.
- On va commencer par:
 - Voir comment ils fonctionnent réellement
 - Se rendre compte que c'est trop difficile
 - Trouver une approximation qui peut nous simplifier la vie
- On va faire ça pour chaque composant

Thèmes abordés

- C'est fait comment?
- Qu'est-ce qui se passe dedans?
- On met les morceaux ensemble
 - Différents types de diodes
 - Transistors bipolaires
 - Transistors CMOS
- Qu'est-ce qu'on peut faire avec?

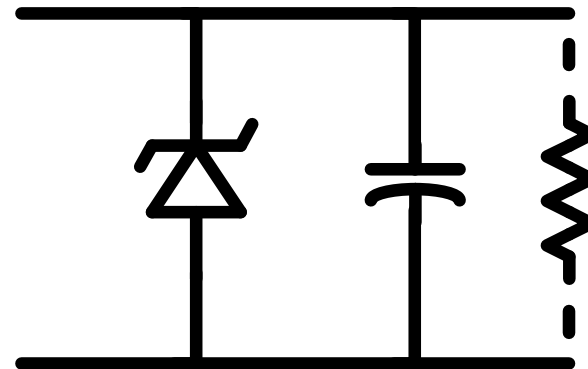
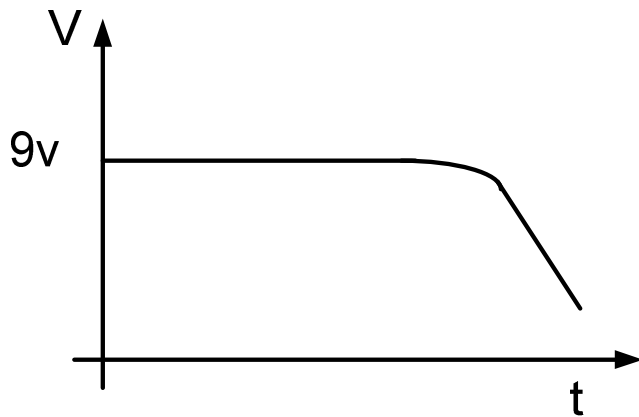
Exemples d'application

- Tout système numérique contient des portes logiques



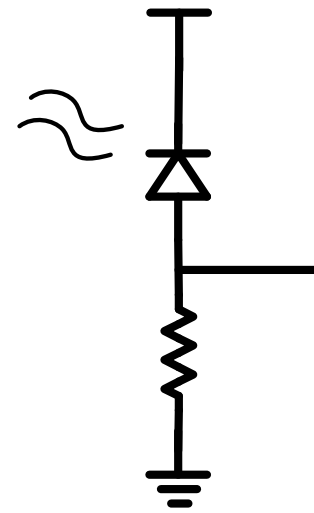
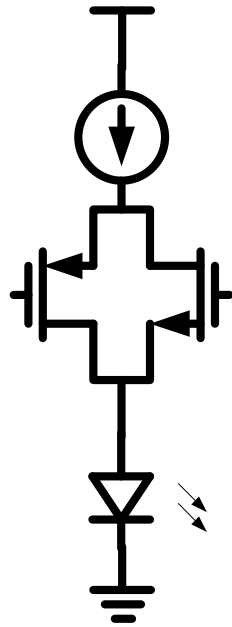
Exemples d'application

- Produits portables opèrent avec des batteries
- Avec le temps, voltage baisse: régulation



Exemples d'application

- Fibre optique pour l'envoi d'information haute vitesse sur des longues distances
- Conversion électrique-optique (vice versa)



Résumé

- L'électronique vient en plusieurs saveurs:
 - Micro vs Macro
 - Analogique vs. numérique vs. mixte
- En 6GEI300, on va couvrir la base pour:
 - Analyser des circuits simples
 - Concevoir des circuits simples
 - Utiliser les outils pour faire des prototypes
 - Utiliser les instruments de mesure pour les vérifier

Introduction

- La compréhension du cours dépend beaucoup des connaissances antérieures
 - Connaissance des composantes passives (résistances, capacités et inductances)
 - Connaissance des sources de tension et de courant
 - Connaissance des règles de base (diviseur de tension, diviseur de courant, connexion parallèle et série, etc.)
- On prend le temps pour s'assurer que le tout est maîtrisé...

Assurez-vous que le tout soit bien assimilé...

Composantes passives

- Résistance: élément qui ralentit les charges



- Condensateur: élément qui accumule les charges



- Empêche le changement rapide de tension à ses bornes

- Inducteur: élément qui empêche le changement rapide du courant



Sources

- Source de tension: Élément qui fournit TOUJOURS la même tension
 - Donne le courant nécessaire pour avoir la tension voulue



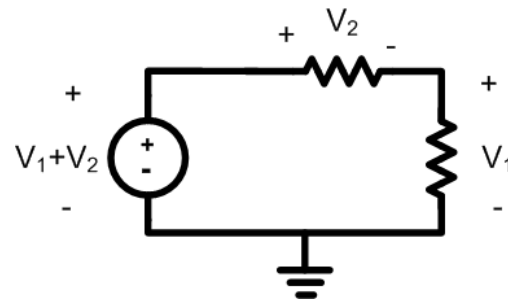
- Source de courant: Élément qui fournit TOUJOURS le même courant
 - Donne la tension nécessaire pour avoir le courant voulu



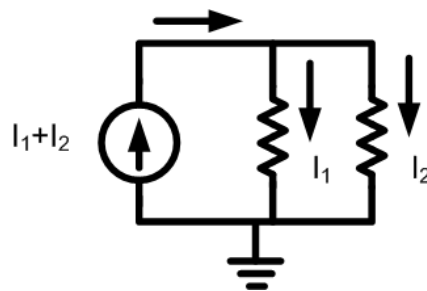
(moins commun)

Règles à savoir

- Les tensions s'additionnent en série

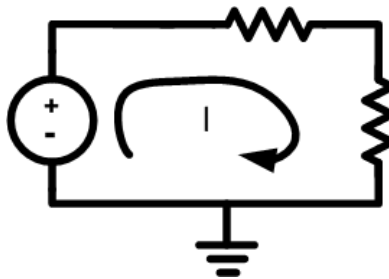


- Les courants s'additionnent en parallèle

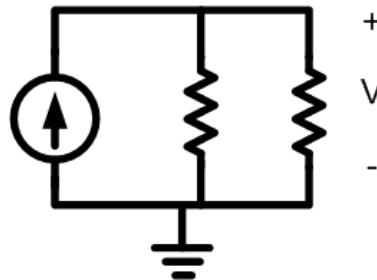


Règles à savoir

- Les éléments en série ont le même courant

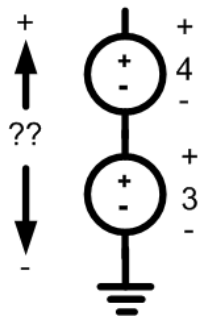


- Les éléments en parallèle ont la même tension

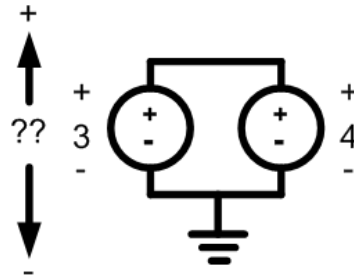


Questions sur les sources

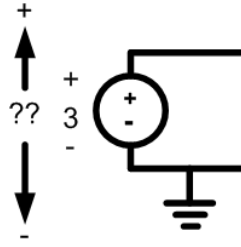
- Trouvez les tensions suivantes:



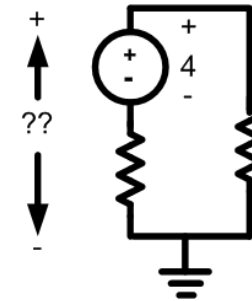
a)



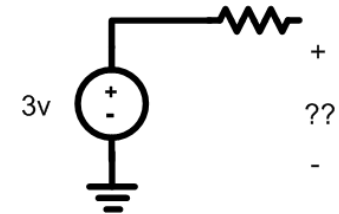
b)



c)

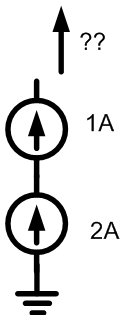


d)

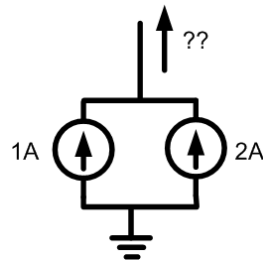


e)

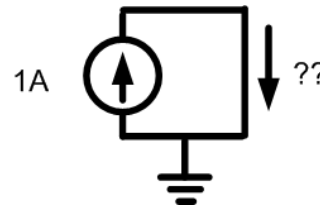
- Trouvez les courants suivants:



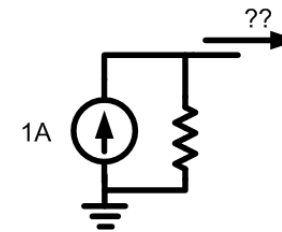
f)



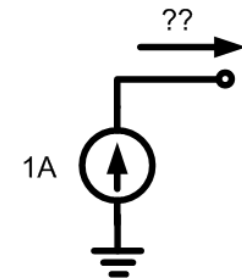
g)



h)



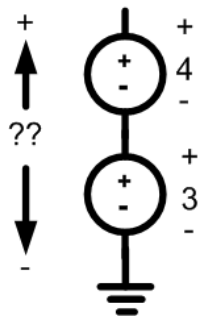
i)



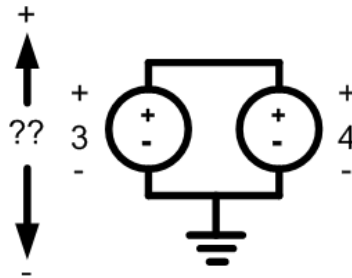
j) ²⁴

Questions sur les sources

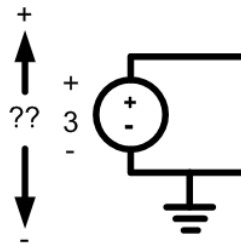
- Les tensions sont



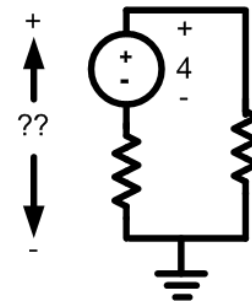
7v



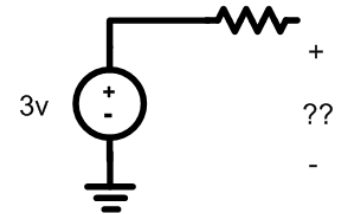
indéterminé



indéterminé

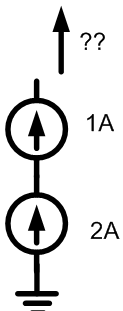


indéterminé

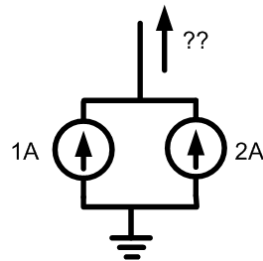


3v

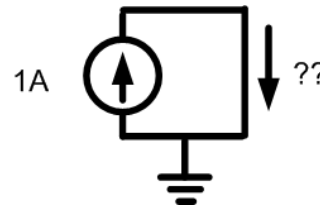
- Les courants sont



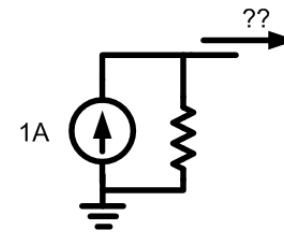
indéterminé



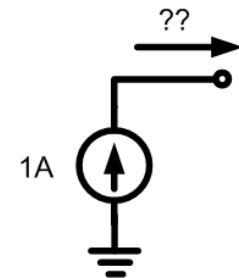
3A



1A



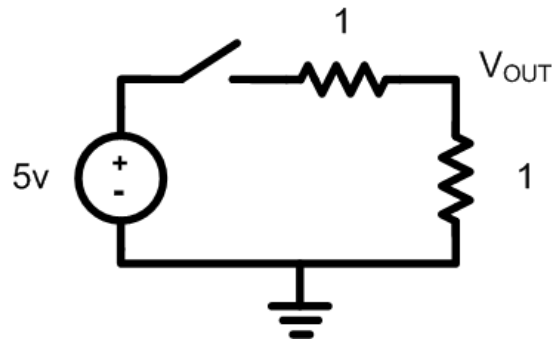
indéterminé



indéterminé²⁵

Circuit résistif

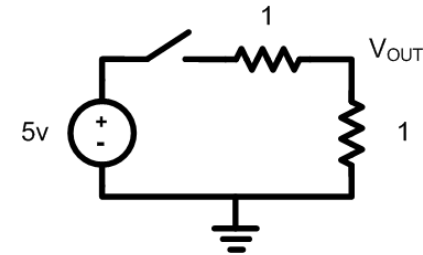
- Tracez l'allure générale de la tension V_{OUT} :



Circuit résistif

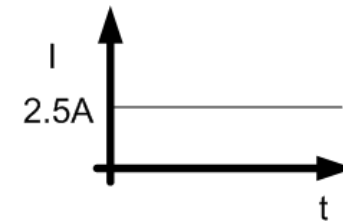
- La tension V_{OUT} sera le courant multiplié par la résistance de 1Ω :

$$V_{OUT} = I \cdot R$$



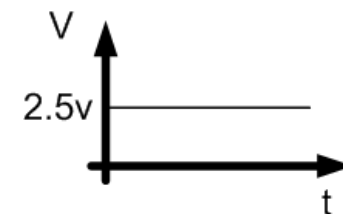
- C'est quoi le courant?

$$I = \frac{5v}{1+1} = 2.5A$$



- Avec le courant, on trouve V_{OUT} :

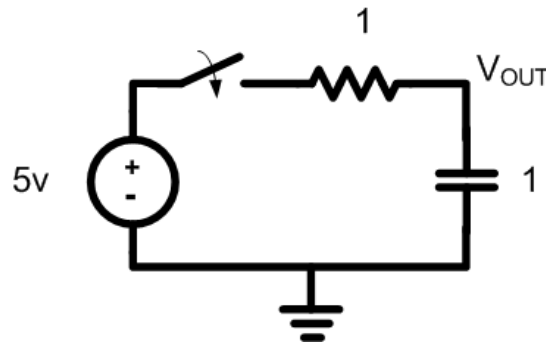
$$V_{OUT} = 2.5V$$



V et I restent constants avec le temps....

Circuit RC (R avant C)

- Tracez l'allure générale de la tension V_{OUT} :

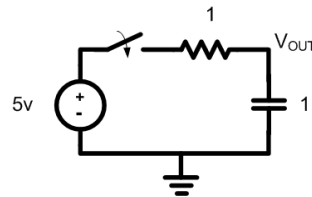


Circuit RC (R avant C)

- Oublions les équations différentielles...
 - On connaît quelques règles qui peuvent nous aider...
- La tension dans C (qui est V_{OUT}) est déterminée par la quantité de charges Q:

$$V = \frac{Q}{C}$$

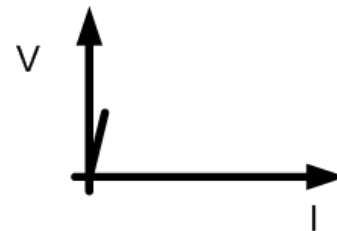
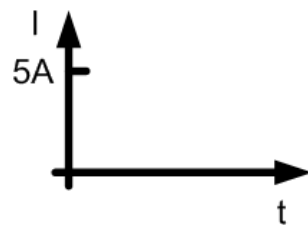
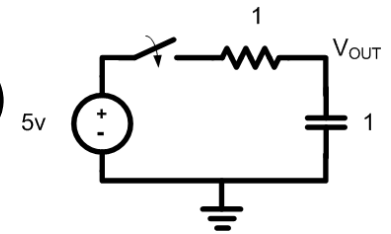
- Le courant, c'est la vitesse à laquelle Q arrive
 - Gros courant = Q arrive vite (V monte vite)
 - Petit courant = Q arrive lentement (V monte lentement)



Circuit RC (R avant C)

- Divisons la fonction en tranches de temps tres courtes...

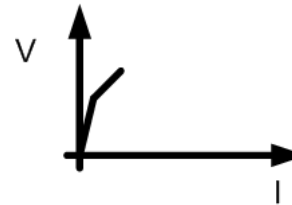
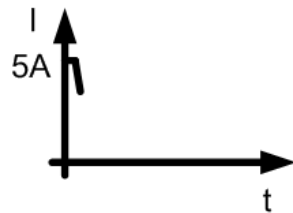
- Au debut, le condensateur est vide ($V=0$)
- Le courant c'est $(5-0)/1=5A$
- V va donc augmenter rapidement au debut



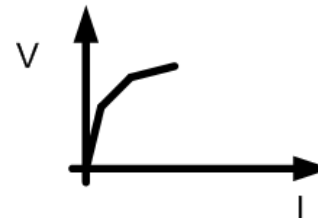
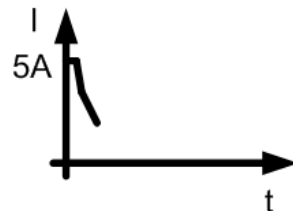
- Prenons une 2e tranche de temps...

Circuit RC (R avant C)

- Le condensateur a une tension V_1
 - Le courant sera $(5-V_1)/1$ qui sera moins que 5A
 - V va donc augmenter moins rapidement

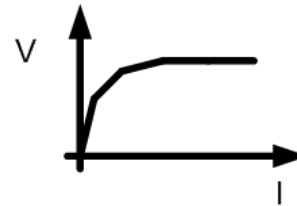
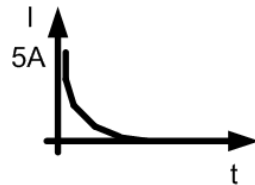


- Après une 3e tranche
 - Courant encore plus faible et tension augmente encore moins vite...



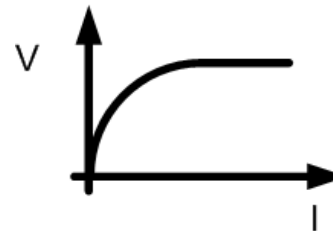
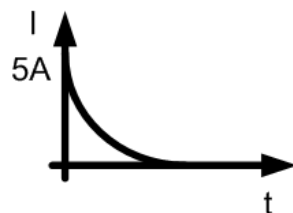
Circuit RC (R avant C)

- À la fin, on aura V_1 qui est égal à 5v
 - À ce moment, le courant sera 0
 - V va arrêter de bouger



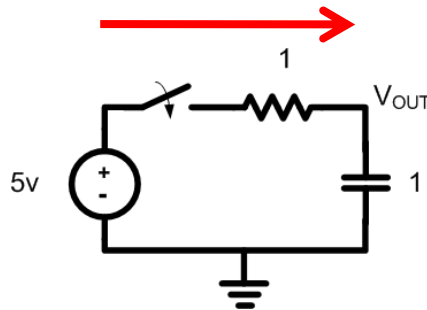
- Avec des tranches de temps plus petites, ça devient plus lisse

- Quand ça tend vers 0s, on obtient une figure exacte



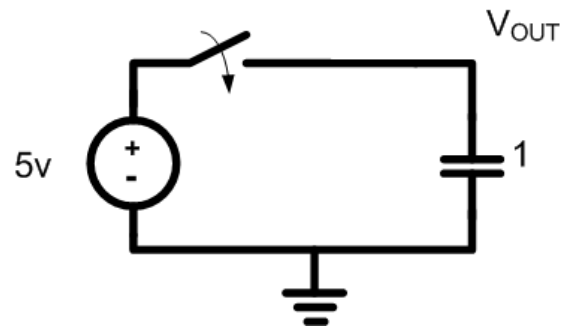
Circuit RC (R avant C)

- L'idée de base est donc:
 - La source envoie des charges vers le condensateur
 - "On CHARGE le condensateur"
 - La résistance ralentit notre déplacement de charges
 - Une fois chargé, plus rien ne se produit



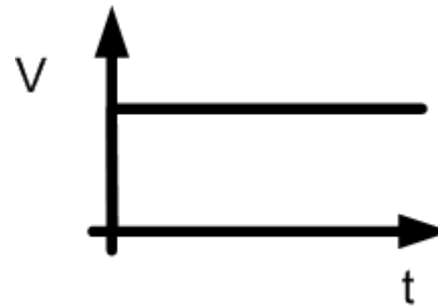
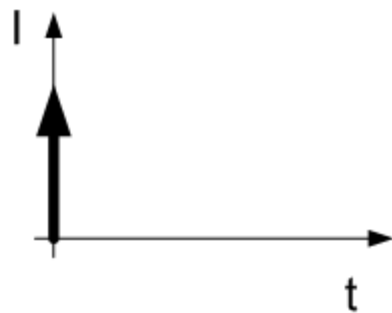
Circuit Capacitif

- Tracez l'allure générale de la tension V_{OUT} :



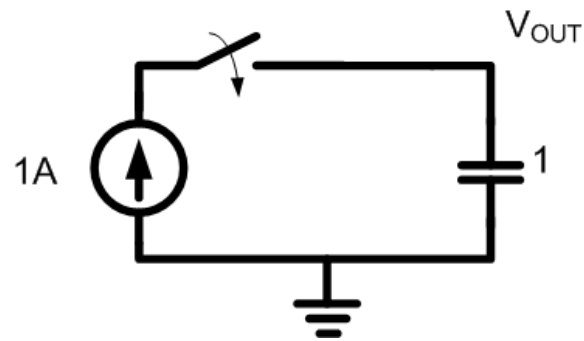
Circuit Capacitif

- On passe par le même raisonnement que tantôt...
 - Il y aura un courant entre la source et le condensateur
 - Le courant sera $(5-0)/0$ qui tend vers l'infini
 - Ça amène une très grande quantité de charges au condensateur jusqu'à ce que la tension soit 5v



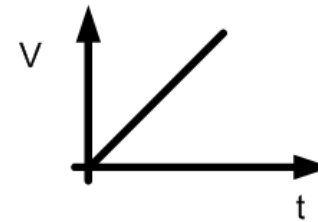
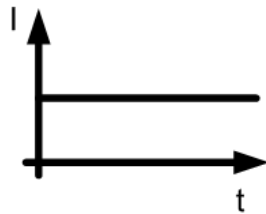
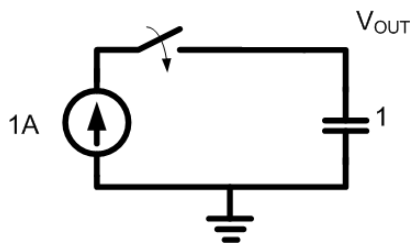
Condensateur et source de courant

- Tracez l'allure générale de la tension V_{OUT} :



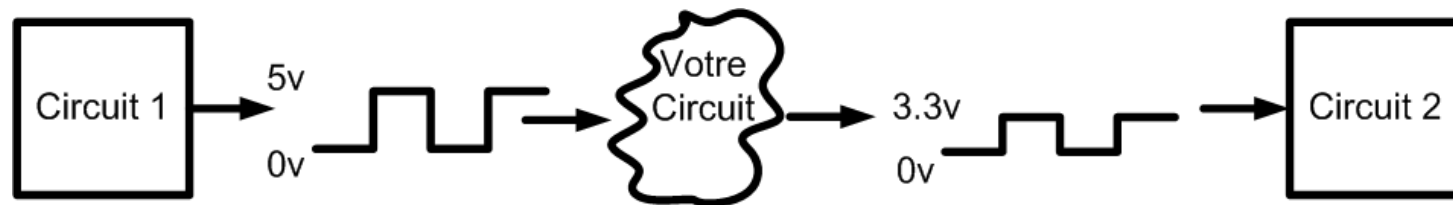
Condensateur et source de courant

- Comment trouve-t-on la tension à la sortie?
- On sait 2 choses:
 - Le courant dans le condensateur est toujours 1A
 - La tension augmente avec la quantité de charges
- $1A = 1 \text{ charge/seconde}$, donc V augmente linéairement



Exercice

- Je dois connecter 2 circuits ensemble:
 - Un circuit me donne des tensions entre 0 et 5v
 - L'autre n'ACCEPTE que des tensions entre 0 et 3.3v
- Proposez un circuit qui adapte la sortie de l'un à l'entrée de l'autre
 - Circuit 1 fournit n'importe quel courant nécessaire pour donner 0v et 5v

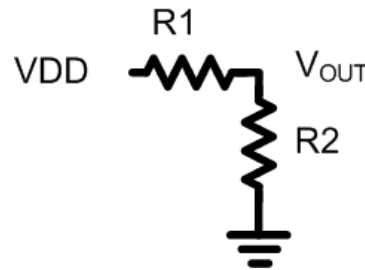


Exercice

- Étape 1: Synthèse des données
 - Quand c'est 5v, je dois sortir 3.3v
 - Quand c'est 0v, je dois sortir 0v
- Étape 2: Retourner voir l'inventaire de ce qu'on connaît
 - Est-ce que un seul R, L ou C pourrait faire ça?
 - Est-ce que RC, RL ou RR pourrait faire ça?
- Étape 3: Déterminer les valeurs
- Étape 4: Vérifier le résultat final

Exercice

- Pour obtenir une tension plus petite, on utilise un diviseur de tension (RR)



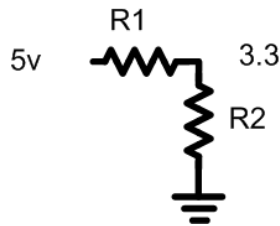
- L'équation de diviseur de tension c'est

$$V_{OUT} = VDD \frac{R2}{R1 + R2}$$

- Il faut trouver les valeurs de R1 et R2

Exercice

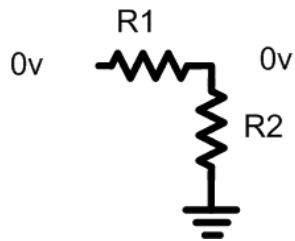
- Les contraintes sont:
 - Quand c'est 5v, je veux 3.3v



$$V_{OUT} = VDD \frac{R2}{R1 + R2}$$

$$3.3 = 5 \frac{R2}{R1 + R2}$$

- Quand c'est 0v, je veux 0v



$$V_{OUT} = VDD \frac{R2}{R1 + R2}$$

$$0 = 0 \frac{R2}{R1 + R2}$$

La 2e contrainte ne me donne pas d'information

Exercice

- Une équation à 2 variables:

- J'ai une infinité de possibilités

$$3.3 = 5 \frac{R2}{R1 + R2}$$

- En faisant des manipulations algébriques, j'obtiens

$$1.94R1 = R2$$

- Avec R2 deux fois plus gros que R1, ça devrait marcher

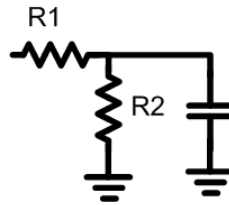
$$R1 = 5K$$

$$R2 = 10K$$

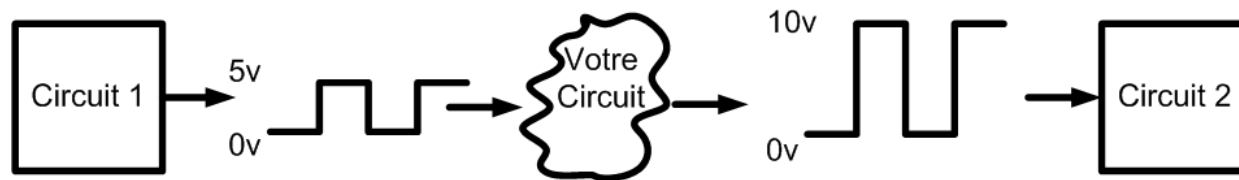
En remettant R1 et R2 dans l'équation,
ma sortie devient 3.3333v... acceptable

Discussions

- Y a-t-il une difference entre l'usage de 5K/10K et l'usage de 5M et 10M?
 - Information utile: les fils et la plaquette ont tous une capacité "parasite" (c'est une capacité sans le vouloir)



- Quelles devraient etre R1 et R2 si Circuit 2 avait besoin d'un signal entre 0v et 10v?

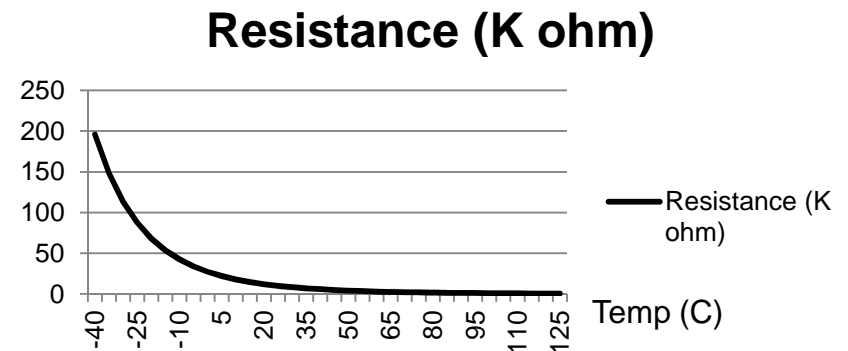


Exercice

- On aimerait faire un genre de thermomètre
 - Change de tension avec la température (quand température augmente, V_{OUT} augmente)
 - On utilise un thermistor: résistance qui change de valeur avec la température
- Proposez un circuit qui fonctionne entre -40C et 35C



- Alimentation=5v
- Moins de 1.5v a -40C
- Plus de 3.5v a 35C



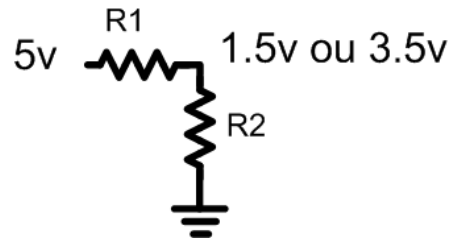
On estime que $R_{-40}=200K$ et $R_{35}=10K$

Exercice

- Étape 1: Synthèse des données
 - Quand c'est 200K, je dois sortir 1.5v
 - Quand c'est 10K, je dois sortir 3.5v
- Étape 2: Retourner voir l'inventaire de ce qu'on connaît
 - Quel circuit change de tension avec un changement de résistance?
- Étape 3: Déterminer les valeurs
- Étape 4: Vérifier le résultat final

Exercice

- Solution possible : diviseur de tension
- Avec les données, on peut dessiner ceci:



- Question: c'est quoi R1 et c'est quoi R2?
Lequel est le thermistor?
- Revoyons l'équation:

$$V_{OUT} = VDD \frac{R2}{R1 + R2}$$

R1=?

R2=?

Lequel est le thermistor?

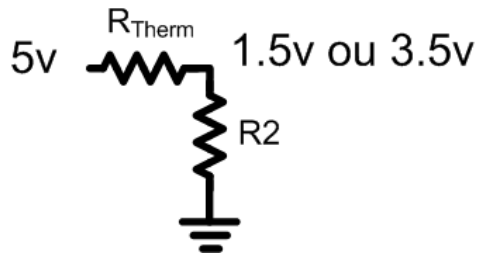
Exercice

- La résistance baisse avec la température:
 - La résistance baisse: on veut une tension élevée
 - La résistance monte: on veut une tension faible
- Essayons-en un... si le thermistor était R2:
 - Quand la température augmente, R2 baisse
 - Si R2 baisse, V_{OUT} baisse... Pas bon!
- Essayons l'autre. Si le thermistor était R1:
 - Quand la température augmente, R1 baisse
 - Si R1 baisse, V_{OUT} augmente... C'est bon

$$V_{OUT} = VDD \frac{R2}{R1 + R2}$$

Exercice

- On détermine les valeurs



- Quand il fait $35C$, $R_{therm} = 10K$ et $V_{OUT} = 3.5V$

$$3.5 = 5 \frac{R2}{10K + R2}$$

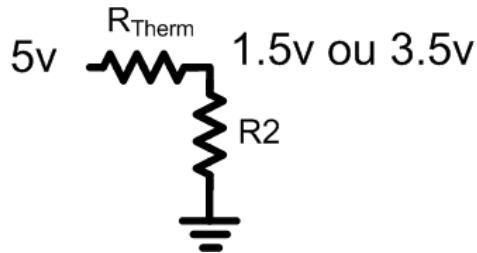
- On isole $R2$:

$$R2 = 23.3K$$

Est-ce $R2$ est la valeur minimale ou maximale pour bien fonctionner?

Exercice

- On détermine les valeurs



- Quand il fait $-40C$, $R_{therm}=200K$ et $V_{OUT}=1.5v$

$$1.5 = 5 \frac{R2}{200K + R2}$$

- On isole $R2$:

$$R2 = 85.7K$$

Est-ce $R2$ est la valeur minimale ou maximale pour bien fonctionner?

Exercice

- On a besoin que R_2 soit entre 23K et 85K
- Il faut savoir que:
 - Les résistances sont pas 100% précis...
 - Les résistances changent avec la température aussi
- Pour minimiser les possibilités d'erreurs, on choisit au milieu:
 - On prend $R_2=50K$
- Il faut maintenant vérifier

Exercice

- On met R_2 dans les équations et on veut:
 - Moins de 1.5v quand c'est -40C ($R_{\text{therm}}=200K$)
 - Plus de 3.5v quand c'est 35C ($R_{\text{therm}}=10K$)

$$V_{OUT-40} = 5 \frac{50K}{200K + 50K}$$

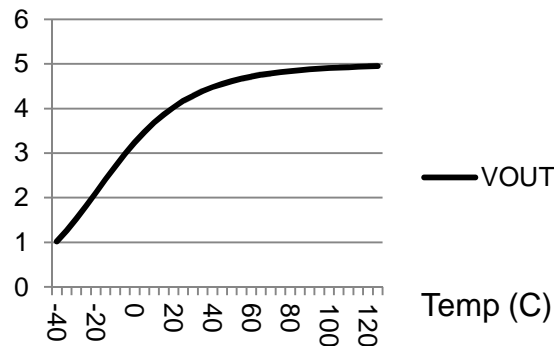
$$V_{OUT+35} = 5 \frac{50K}{10K + 50K}$$

- On obtient ceci:

$$V_{OUT-40} = 1$$

$$V_{OUT+35} = 4.16$$

- Réponse générale:



Exercice (seul)

- Il existe des capteurs de pression qui varient leur résistance selon la pression:
 - Avec pression, la résistance est de 1K
 - Sans pression, la résistance est de 1M
- Concevez un circuit qui:
 - Est alimenté par 3.3v
 - Qui donne PLUS que 3v s'il y a pression
 - Qui donne MOINS que 0.3v s'il n'y a PAS de pression



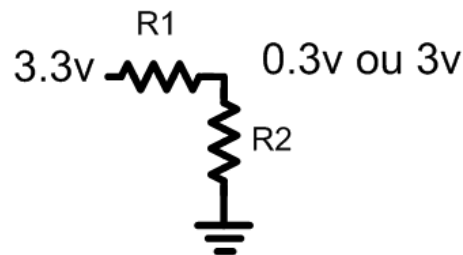
Note: On peut considérer le capteur comme étant une résistance...

Exercice (seul)

- Étape 1: Synthèse des données
 - Quand c'est 1K, je dois sortir 3v
 - Quand c'est 1M, je dois sortir 0.3v
- Étape 2: Retourner voir l'inventaire de ce qu'on connaît
 - Est-ce que ca va ENCORE etre un diviseur de tension?
- Étape 3: Déterminer les valeurs
- Étape 4: Vérifier le résultat final

Exercice (seul)

- En diviseur de tension, déterminons où va le capteur de pression:
 - Est-ce que c'est R1 ou R2?
- Si je mettais de la pression, je voudrais 3v
 - Avec la pression, la résistance baisse
 - Quand la résistance baisse, je veux une “haute” tension
 - Quel R donne V_{OUT} élevé quand sa valeur est faible?



$$V_{OUT} = VDD \frac{R2}{R1 + R2}$$

Exercice (seul)

- Avec de la pression, la tension devrait être 3v

$$V_{OUT} = VDD \frac{R2}{R1 + R2} \quad 3 = 3.3 \frac{R2}{1K + R2}$$

- On isole R2: $R2 = 10.1K$ 10.1K minimum ou maximum?

- Sans pression, la tension devrait être 0.3v

$$V_{OUT} = VDD \frac{R2}{R1 + R2} \quad 0.3 = 3.3 \frac{R2}{1M + R2}$$

- On isole R2:

$$R2 = 100K$$

100K minimum ou maximum?

Exercice (seul)

- Une valeur entre 10K et 100K pourrait être 50K..
- Vérifions si ça tient la route
 - Quand on met de la pression ça devrait être plus que 3v

$$3.3 \frac{50K}{1K + 50K} = 3.24$$

- Sans pression ça devrait être moins que 0.3v

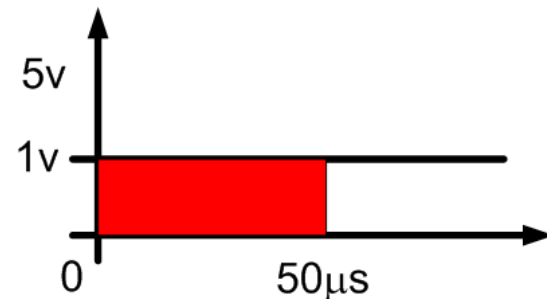
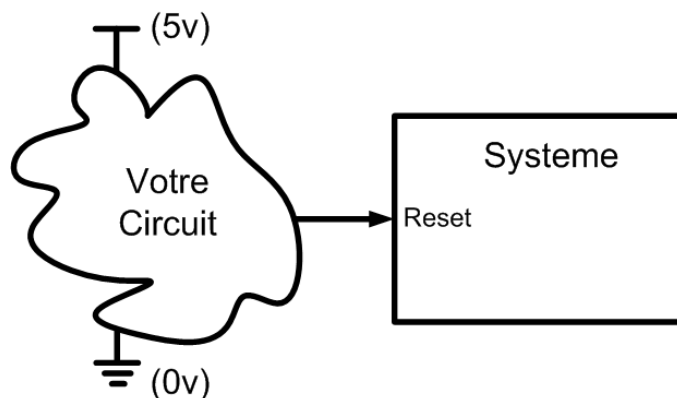
$$3.3 \frac{50K}{1M + 50K} = 0.157$$

Exercice

- Les puces numériques ont un “reset” qui met le système dans un état bien connu
 - Sans ça, le système peut mal fonctionner
- Quand on branche le système, on aimerait qu’il se mette en reset
 - Selon les systèmes, il doit rester en reset pendant un certain temps (50 μ s, par exemple)
- Voyons encore un peu plus de détails...

Exercice

- Un système va en reset quand on met une tension faible ($\sim 0\text{v}$) à son entrée "Reset"
 - Dans notre système, on a besoin que ce soit $< 1\text{v}$
- Après, on aimerait que l'entrée "Reset" ait une tension égale à l'alimentation (5v)



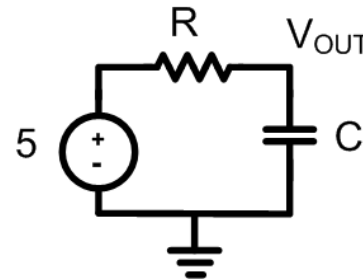
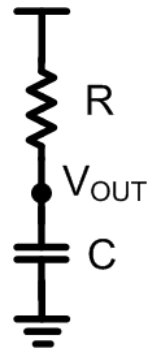
Quel circuit peut-on utiliser?

Exercice

- Étape 1: Synthèse des données
 - Avant $50\mu\text{s}$ la tension doit être moins que 1v
 - Éventuellement, ça doit remonter à 5v
- Étape 2: Retourner voir l'inventaire de ce qu'on connaît
 - Quel circuit prend du temps pour changer la tension de sortie?
- Étape 3: Déterminer les valeurs
- Étape 4: Vérifier le résultat final

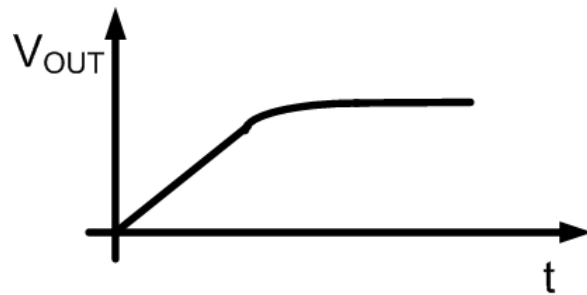
Exercice

- On sait qu'une capacité ne change pas de tension rapidement (sauf si courant infini)
 - On devrait donc penser à utiliser un condensateur
- Si on connectait directement à 5v, on aurait un courant infini
 - Il faut passer par une résistance



Exercice

- Le travail c'est de trouver R et C
- Avec le cours de Circuit Électrique, on sait que la réponse est:
 - On a besoin que ça reste sous 1v pendant 50μs...



$$V_{OUT}(t) = 5(1 - e^{-t/RC})$$

- Comment est-ce qu'on procède?

Exercice

- Ça doit être maximum 1V après 50µs

$$1 = 5 \left(1 - e^{-50 \times 10^{-6} / RC} \right)$$

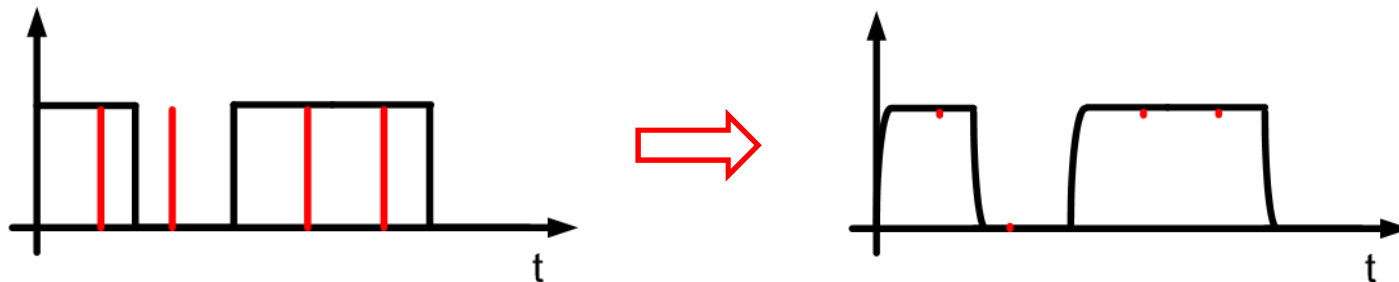
- On n'a qu'une équation à 2 variables
 - On aura une infinité de possibilités
- On isole RC:

$$RC = 224 \times 10^{-6}$$

Solution possible: R=224K C=1nF

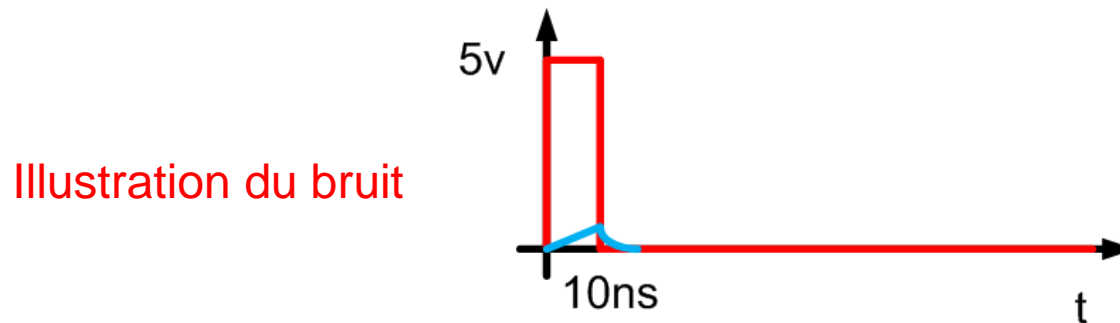
Exercice (seul)

- On envoie des données numériques (0 ou 5v) par des fils
 - Les plus petites durées qu'on envoie volontairement sont de $10\mu\text{s}$.
 - Cependant, parce que notre système ne vaut pas cher, il y a du "bruit"
 - Il y a des petits changements de tension de 5v (de 10ns) qui sont illustrés en rouge
 - On aimerait les enlever...



Exercice (seul)

- Concevez un circuit qui réduit la variation de tension à 0.1v
 - Assurez-vous d'affecter le moins possible les "bonnes données" (ce qui n'est pas du bruit)
- Présentement, on a le bruit en rouge
 - On aimerait le réduire à ce qu'on voit en bleu (0.1v)



Exercice (seul)

- Étape 1: Synthèse des données
 - L'entrée est un échelon de 5v
 - À 10ns, la tension doit être moins que 0.1v
- Étape 2: Retourner voir l'inventaire de ce qu'on connaît
 - Quel circuit prend du temps pour changer la tension de sortie? Encore le circuit RC...
- Étape 3: Déterminer les valeurs
- Étape 4: Vérifier le résultat final

Exercice (seul)

- Ça doit être maximum 0.1v après 10ns

$$0.1 = 5 \left(1 - e^{-10 \times 10^{-9} / RC} \right)$$

- On n'a une équation à 2 variables
 - On aura une infinité de possibilités
- On isole RC:

$$RC = 0.5 \times 10^{-6}$$

Solution possible: R=500 C=1nF