

Contrôle de processus

Les feuilles de cours illustrent la matière abordée et met en avant les points essentiels mais ne contient pas toute la matière.

Il est important d'accompagner ces feuilles de prises de notes et d'exercices faits en classe.

UAA1	Régulation
UAA2	Système automatisé
UAA3	Electronique de puissance

Introduction à différentes notions abordées dans le cours

Les actionneurs et leur commande

Moteur DC	Servomoteur	Moteur pas-à-pas
Vitesse liée à la tension. Sens lié à la polarité.	Moteur DC + électronique Régulé en angle	Commandé en orientant le champ magnétique suivant une séquence.
Classiquement interfacé par un pont en H et commandé par un sens + PWM	Sans circuit d'interface Commandé par un PWM spécifique	Peut être interfacé à l'aide d'un pont en H.

Remarque : En industrie les actionneurs pneumatiques tels que les vérins sont fort utilisés.

Les régulateurs à découpage et les accumulateurs

Régulateur linéaire	Régulateur à découpage	Accumulateurs
Notion du Drop	Principe du découpage	Ni-MH, Ni-Cd, Pb, Li-ion, Lipo
Inconvénient du rendement	Rendement meilleur	Utilisation, précautions, ...

L'électronique de puissance

transistor	Relais	Thyristor	Triac	...
Partie commande et partie opérative	Isolation galvanique	Composant de puissance	Composant de puissance	

L'API et sa programmation

API	Ladder	Grafcet
Introduction	Origine : la logique câblée	Etapas / transitions
Environnement industriel Siemens	Câblage série, parallèle et fonctions logiques	

La régulation PID

P	I	D	Combinaisons
Action proportionnelle à l'erreur.	Action qui suit l'évolution de l'erreur dans le temps.	Action qui compense les variations rapides de l'erreur.	(P+D) P+I P+I+D
Très utile.	Bien avec du P.	Seulement en renfort.	

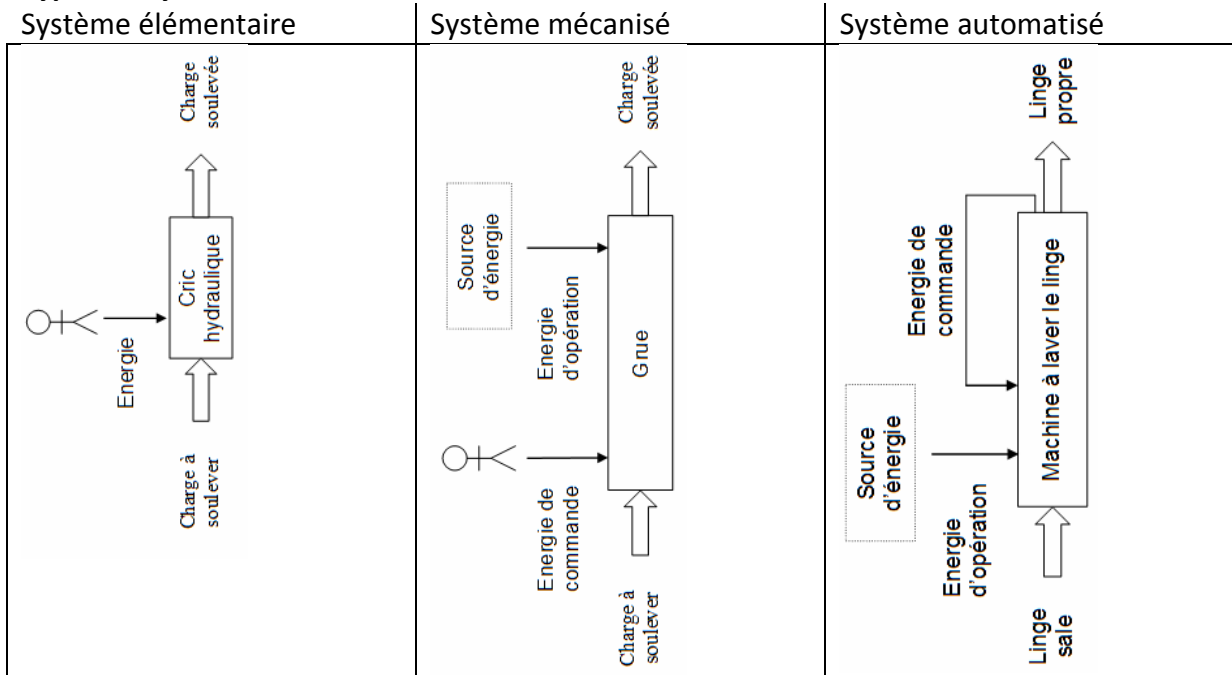
Illustré par le problème de la cuve

Contrôle de processus et régulation : Introduction

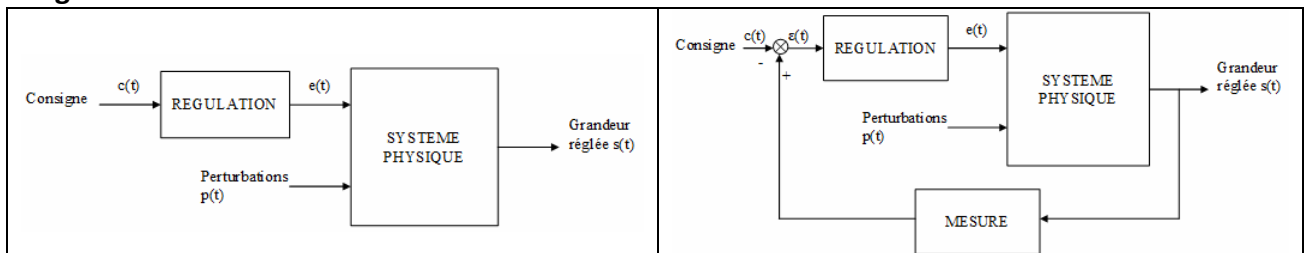
Processus

Un processus est un ensemble ordonné de tâches pour arriver à un certain résultat. Toutes des tâches qui caractérisent le processus seront effectuées par le système.

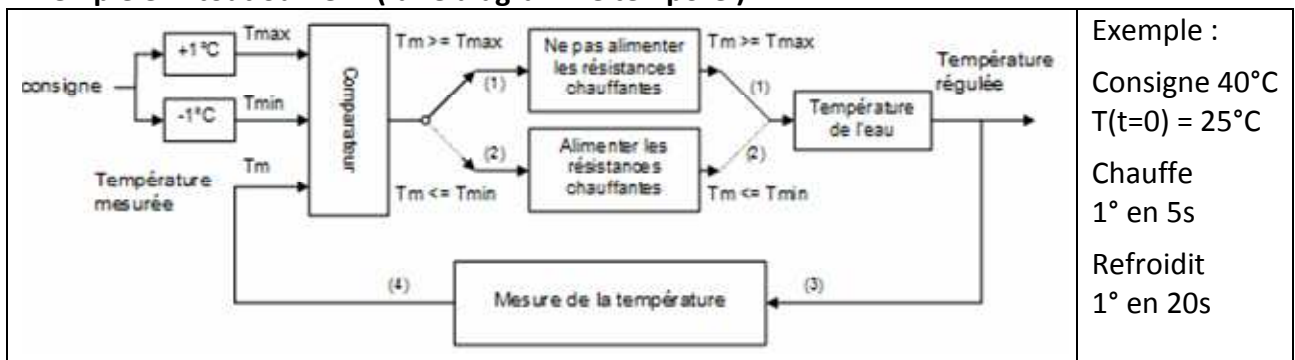
Types de système



Régulation BO et BF



Exemple en "tout ou rien" (faire diagramme temporel)



Base de planification jusqu'à la situation d'apprentissage 1

SEM 1	Rappels : - Le transformateur - Le redressement et le filtrage d'une alimentation DC - La régulation linéaire d'une alimentation DC
SEM 2	Le régulateur à découpage
SEM3	Exercices sur l'alimentation DC
SEM4	Les accumulateurs
SEM5	Situation d'apprentissage 1

Planification prévisionnelle jusqu'à la situation d'apprentissage 1

Semaine	

Compléter le planning prévisionnel en classe

Le transformateur

Champ électrique et champ magnétique

Ces champs caractérisent chaque point de l'espace et traduisent les forces qui agiraient sur une charge si on la plaçait à un endroit précis dans l'espace.

En plaçant une charge q dans un champ électrique E [V/m], il apparaît une force électrique. Avec une charge en mouvement ($q \cdot v$) dans un champ d'induction magnétique B [T ou Tesla], il apparaît une force magnétique. Les champs, les forces et la vitesse sont des vecteurs.

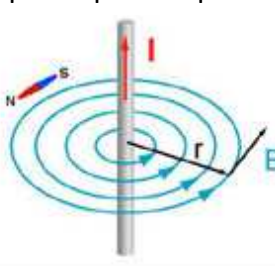
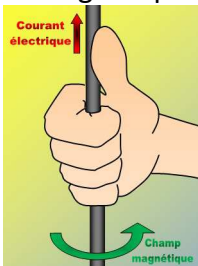
Force électrique : $F = q \cdot E$ Force magnétique : $F = q \cdot v \wedge B$

Un champ électrique est créé par l'existence d'au moins une charge électrique. Un champ magnétique est créé par des aimants et/ou des charges électriques en mouvement.

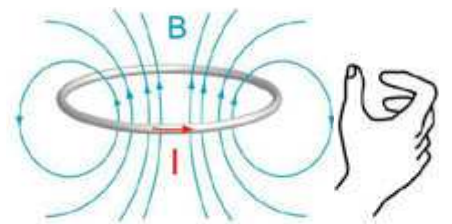
Une spire parcourue par un courant

Lorsqu'un courant traverse un conducteur, il apparaît un champ magnétique.

Si la forme du conducteur est une spire, il apparaît à l'intérieur de la spire un champ magnétique qui est produit par les "morceaux de conducteurs" parcourus par le courant.



La règle de la main droite donne le sens de translation à partir du sens de rotation. Comme pour un tire-bouchon, le pouce monte si on tourne dans le sens des doigts. Cette règle fonctionne pour le sens de I (à gauche) ou le sens de B au sein d'une spire (à droite).



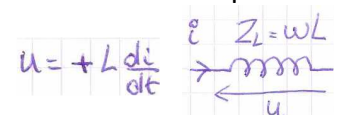
Le solénoïde (la bobine) et son aimantation.

En enroulant un conducteur sur un ensemble de spires, on obtient une bobine L . Si on applique une tension u à ses bornes, il apparaît un di/dt (variation de courant) tel que $u = +L \cdot di/dt$. On utilisera la convention récepteur pour le signe du courant i en rapport avec la tension u .

Convention récepteur :

$$u = +L \frac{di}{dt}$$

$\mathcal{E} = Z_L = \omega L$



En imaginant qu'on commence avec un courant nul, $i(t=0) = 0$, une tension continue aura pour effet d'établir le courant progressivement (et même linéairement) dans la bobine.

Comme pour une spire parcourue par un courant, le champ magnétique au sein du solénoïde sera lié à la valeur du courant (la règle de la main droite nous indique le sens).

Si on imagine que la tension aux bornes de la bobine provient d'un générateur de tension, le fait de voir s'installer un courant entrant dans la bobine implique une puissance électrique fournie par le générateur. Comme la bobine idéale utilise un conducteur parfait, on ne peut pas faire correspondre l'énergie fournie par le générateur à des pertes par effet Joule. L'énergie reçue par la bobine y sera stockée sous la forme d'un champ magnétique ou d'une aimantation.

Le transformateur monophasé idéal

Ce transformateur contient un noyau ferromagnétique autour duquel on trouve un enroulement primaire et un enroulement secondaire. Leurs nombres de spires respectifs sont notés N_p et N_s .

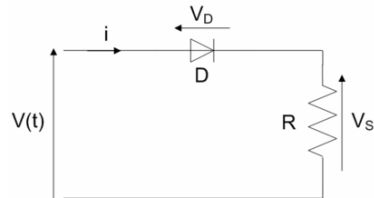
Le rapport de transformation $m = N_s/N_p$ définit également le rapport des tensions U_s/U_p .

Comme la puissance fournie à l'enroulement primaire se retrouve communiquée à la charge connectée au secondaire, on trouve que $m = I_p/I_s$.

Le redressement et le filtrage d'une alimentation DC

Redressement simple alternance pour une charge purement résistive

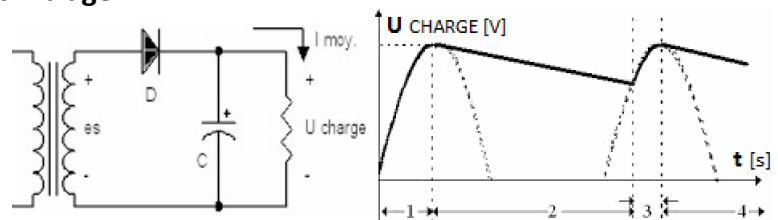
Le montage simple alternance contient simplement une diode entre le signal alternatif et la charge. La charge aura toujours une tension positive à ses bornes.



Lorsque la diode est bloquée ($V(t) < V_{D_SEUIL}$), $V_S \approx 0$.
Autrement, $V_S \approx V(t) - V_{D_SEUIL}$
La diode doit pouvoir supporter $V(t)_{MAX}$ en inverse.

Redressement simple alternance avec filtrage

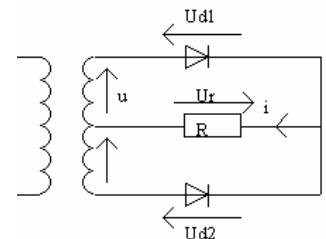
En ajoutant un condensateur en parallèle sur la charge, la tension de sortie est grossièrement stabilisée. Avec C suffisant, la décharge au travers de la charge est assez lente.



<http://schemas-electronique.blogspot.com>

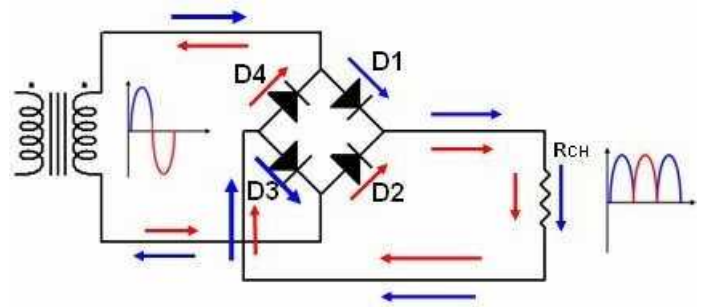
Redressement utilisant un transformateur à point milieu

Si on possède un transformateur dont le bobinage secondaire a un point milieu, on peut mettre ce point milieu à la masse et obtenir un signal type "redressé double alternance". Chaque "demi-secondaire" se charge d'une alternance comme pour un redressement simple alternance. Le signal aux bornes de la charge contient chaque alternance redressée. Il est intéressant de dessiner un chronodiagramme de tous les signaux.



Redressement et filtrage utilisant un pont diodes

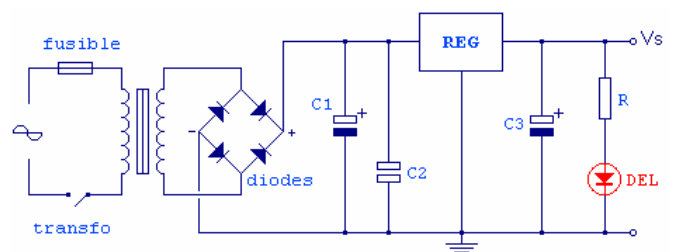
En plaçant correctement en pont diode entre le secondaire du transformateur et la charge, on peut remarquer que celle-ci se voit toujours parcourue par un courant circulant dans le même sens. Pour l'alternance positive du secondaire, seules D1 et D3 sont passantes. Pour l'alternance négatives, ce sont D2 et D4.



<https://sites.google.com/site/thierrybiaye2/home/01-redresseur-simple-et-double-alternance>

Exemple simple d'une alimentation stabilisée

La maille contenant le bobinage primaire contient un fusible et un interrupteur. Le pont diode redresse le signal. C_1 filtre le signal et C_2 pallie le défaut technologique de C_1 . Le régulateur fournit une tension stabilisée qui est découplée par C_3 . La LED indique la présence d'une tension V_S .

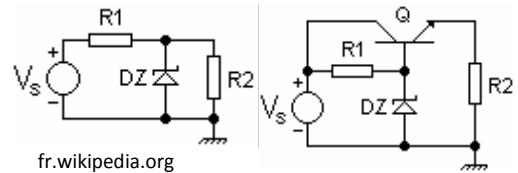


La régulation linéaire d'une alimentation DC

Un régulateur de tension permet de fournir une différence de potentiel stabilisée entre sa sortie et sa patte commune. On a alors une boucle fermée permettant de contrôler une grandeur physique. On distingue les régulateurs linéaires et les régulateurs à découpage.

Deux principes de régulation en boucle ouverte

La charge est symbolisée par R_2 . Le 1^{er} montage est pour des faibles courant, le 2^{ème} pour des courants plus élevés. La tension inverse d'une diode zéner est une bonne référence de tension mais varie un peu avec le courant.

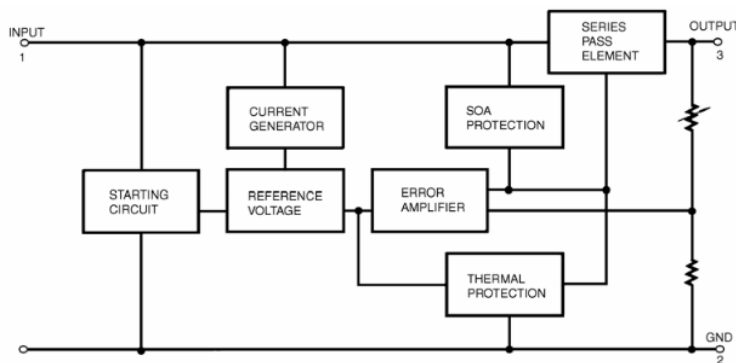


Quelques spécificités de la famille LM78XX

La famille LM78XX, très connue et encore souvent utilisée, propose des régulateurs pour différentes tensions. La valeur de la tension stabilisée est indiquée à la place du XX. On trouve par exemple les tensions 5V, 9V et 24V fournies par les régulateurs respectifs LM7805, LM7809 et LM7824.

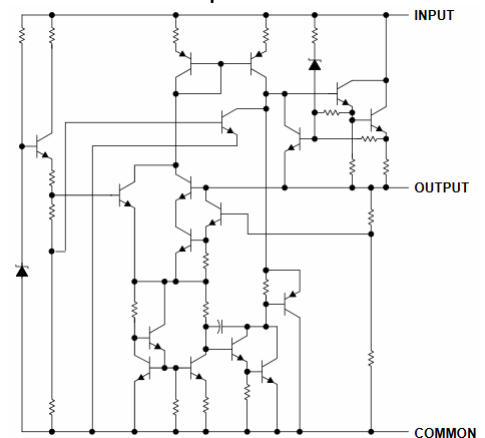
LM7805, caractéristiques :
 Quiescent Current : 5 à 8 mA
 Dropout voltage : 2V
 $U_{IN} = 35V$ max
 Output current : 1,5A max

Schéma bloc interne



Les schémas internes montrent une boucle fermée, une gestion de la température et l'utilisation d'une Zéner.

Schéma électrique interne



La puissance dissipée dans un régulateur linéaire en pratique

En négligeant le courant de repos du régulateur, on peut considérer que $I_{IN} \approx I_{OUT}$. La puissance fournie par ce qui précède le régulateur vaut alors $U_{IN} * I_{IN}$ alors que la puissance utilisée par la charge vaut $U_{OUT} * I_{OUT}$. La puissance (non utile) dissipée au sein du régulateur vaut alors $I_{OUT} * (U_{IN} - U_{OUT})$. La perte est proportionnelle au DROP ($U_{IN} - U_{OUT}$).



Comment améliorer le rendement de notre alimentation stabilisée ?

Avec un régulateur linéaire, pour produire une tension stabilisée U_{OUT} , il est préférable de limiter tant que possible la tension U_{IN} . En effet, le rendement ($\eta = P_{UTILE} / P_{ABSORBEE}$) de l'alimentation stabilisée peut être considérée comme le rapport U_{OUT} / U_{IN} . Cependant, il existe une limite à la valeur de U_{IN} liée au fait que le régulateur a besoin d'un DROP ($U_{IN} - U_{OUT}$) minimum pour fonctionner. On parle de moins d'un volt (pour un régulateur LOW-DROP) à quelques volts.

Le régulateur à découpage

Le mauvais rendement des régulateurs linéaires, est lié au "DROP" pour lequel on peut observer simultanément une tension à ses bornes et un courant le traversant.

En simplifiant, le régulateur linéaire se comporte comme une résistance série variable.

Le régulateur à découpage va éviter cette simultanéité de courant / tension en utilisant des transistors fonctionnant en commutation. Si le transistor est passant, il y a du courant mais la tension à ses bornes est proche de zéro ; si le transistor est bloquant, le courant est nul.

On a bien une puissance proche de zéro dissipée par un transistor en commutation !

En combinant la commutation à des réservoirs d'énergie (comme le condensateur et la bobine), le rendement des régulateurs à découpage est bien meilleur que pour les linéaires.

Convertisseur Buck ou hacheur série : Convertit la tension en une tension plus faible.

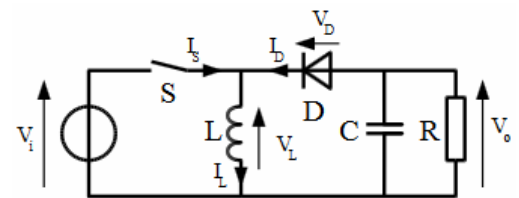
Convertisseur Boost ou hacheur parallèle : Convertit la tension en une tension plus élevée.

Convertisseur Buck-Boost

L'interrupteur S symbolise le découpage, la bobine L stocke de l'énergie en courant et le condensateur C en tension.

Lorsque S est fermé, I_L augmente et le condensateur (borne positive en dessous $\rightarrow V_0 < 0$) se décharge lentement dans R. Lorsque S est ouvert, I_L reste positif mais diminue $\rightarrow V_L < 0$.

La bobine cède de l'énergie à la charge et au condensateur.



Principe de l'alimentation FLYBACK

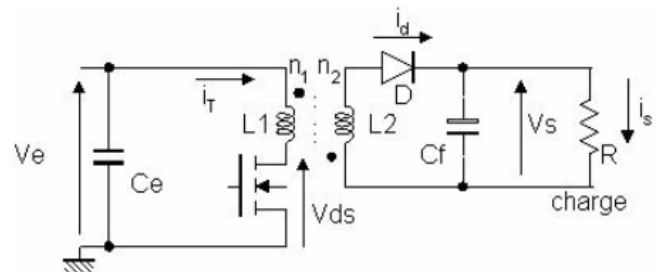
La partie droite du montage est l'équivalent des éléments L-D-C-R du convertisseur Buck-Boost.

Le sens de la diode a changé pour avoir $V_s > 0$.

Le transfo qui apporte une isolation galvanique, permet le rapport de transformation souhaité.

Les points indiquent les sens des enroulements.

On applique un signal PWM sur le transistor.



Gestion de la régulation à l'aide d'un circuit fermé

Ce montage complète le précédent en ajoutant la gestion du PWM par boucle fermée.

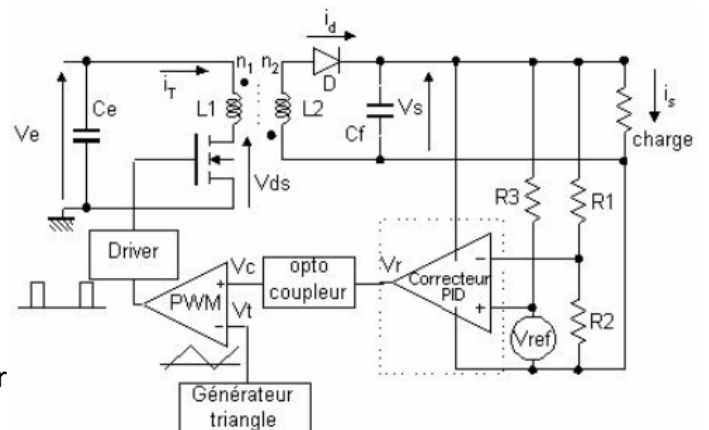
On peut voir que le PWM est fabriqué en sortie d'un comparateur qui reçoit un signal triangle V_t et un seuil V_c .

Comme le rapport cyclique du PWM est proportionnel au seuil V_c , on peut essayer de contrôler le seuil V_c pour contrôler le PWM.

La boucle fermée va tenir compte de la différence entre V_{ref} et une fraction de V_s pour influencer le PWM et maintenir V_s constant.

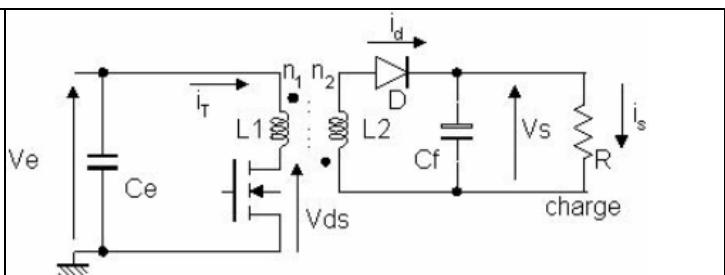
En plus des alimentations à découpage Flyback, on trouve également les Forward et les Push Pull.

Quelques références : <https://www.larmand.fr> <http://vincent.boitier.free.fr> <https://fr.wikipedia.org>



Exercices sur les alimentations DC

- 1.) On utilise une batterie de 9V pour alimenter un régulateur linéaire dont la tension de sortie est de 5V. En négligeant le courant de repos du régulateur, calculez le rendement de l'alimentation pour une charge résistive $R_L = 500 \Omega$.
- 2.) Avec les mêmes données que l'exercice précédant, calculez le rendement pour deux valeurs de charges ($R_L = 500 \Omega$ et $R_L = 10 \Omega$) en considérant cette fois un courant de repos de 5mA.
- 3.) Pour créer une tension de 5V à partir d'un régulateur linéaire dont le DROP minimum est de 1V, en supposant que l'on puisse annuler le courant de repos, calibrez la tension d'entrée pour optimiser le rendement η . Que vaut η dans ce cas ?
- 4.) Dessinez un signal PWM dont les niveaux de tension sont 0V / 24V, de rapport cyclique 10% et de fréquence 100 kHz. Que vaut la tension moyenne?
- 5.) Tentons de représenter quelques chronodiagrammes du circuit ci-dessous pour nous aider à comprendre le principe de l'alimentation à découpage Flyback.

<p>On supposera que :</p> <p>$V_e = 24V,$ $V_s = 5V,$ $R = 10 \Omega,$ Le rapport cyclique α du PWM = 10%, La fréquence de découpage = 100 kHz</p>	
---	--

On supposera pour simplifier que le transistor est assimilable à un interrupteur parfait, que le seuil de la diode peut être négligé et que le seul consommateur d'énergie active est R. En considérant que l'énergie apportée par V_e sur un cycle est égale à l'énergie consommée par la charge, calculez i_T moyen ($I_{T_MOY_T}$) calculé sur une période T.

On peut poser l'intervalle $[0, \alpha T]$ comme étant l'intervalle de conduction du transistor et l'intervalle $[\alpha T, T]$ son intervalle de blocage. Ce qui permet de trouver la valeur de I_T moyen valable sur l'intervalle $[\alpha T, T]$, nous l'appellerons $I_{T_MOY_PWM_ON}$, calculez sa valeur.

Avec la formule de la moyenne pondérée : $I_{T_MOY_T} = \alpha * (I_{T_MOY_PWM_ON}) + (1 - \alpha) * 0$

Calculez ensuite la valeur de **L1** en imaginant que le courant I_T dans l'intervalle $[0, \alpha T]$ croit linéairement de 0 à I_T max (avec une moyenne de $I_{T_MOY_PWM_ON}$) due à V_e constant.

Tracez le chronodiagramme de V_{ds} et I_T pour $\alpha = 10\%$ (ne soyez pas dérangé si vous constatez une discontinuité de courant au sein le L1 qui n'est qu'une partie du transfo).

Que faut-il modifier pour avoir un nouvel état d'équilibre avec $R = 5 \Omega$? Calculez.

Calculez la valeur limite R_{LIM} de la charge pour un PWM de 100% (puissance maximale).

Dimensionnons C_f de manière à avoir $R_{LIM} * C_f = 100 * T$, calculez **Cf**.

L'ondulation résiduelle que l'on retrouvera en sortie sera liée à la valeur de C_f et des courants de charge/décharge. Comme pour un condensateur, $q = C * u$, on imaginera que l'ordre de grandeur de l'ondulation $c_{\Delta C} = \Delta V_s = (1/C_f) * I_{S_MAX} * T$. Estimez **ΔV_s** .

Les accumulateurs

Principe général d'une pile, d'un accumulateur

En créant une différence de potentiel entre ses bornes^{*}, la pile (ou l'accu) permet de générer un courant dans un circuit à l'aide d'un phénomène électrochimique : l'oxydoréduction.

L'oxydation permet la libération d'électrons, exemple : $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^{-}$

La réduction est liée à l'absorption d'un (de) électron(s), exemple : $MnO_2 + H^{+} + e^{-} \rightarrow MnO(OH)$

La pile va permettre de libérer des électrons (oxydation) à partir de sa borne - qui seront absorbés (réduction) au niveau de sa borne +.

En générant du courant, la composition chimique de la pile va se modifier progressivement.

Par exemple pour une pile saline, l'équation globale est : $Zn + 2MnO_2 + 2H^{+} \rightarrow Zn^{2+} + 2MnO(OH)$

Contrairement à la pile, l'accumulateur permet de renverser le sens des réactions.

Caractéristiques des accumulateurs

La tension par élément [V] est lié au type d'accu. En série, les tensions s'additionnent.

La capacité en [Ah] (= 3600 C) dépend principalement de la taille de l'accu (AA, AAA, ...).

La densité d'énergie en Wh/kg (ou Wh/l) indique l'énergie exploitable par kg (ou l) de l'accu.

La densité de puissance en W/kg donne la puissance de pointe maximale par kg d'accu.

La durée de vie correspond au nombre de cycles charge/décharge "exploitables".

L'autodécharge est classiquement donnée en % par mois.

La résistance interne ($< 1\Omega$) correspond à R_{TH} d'un schéma équivalent de Thévenin.

Les accumulateurs les plus utilisés aujourd'hui et leurs caractéristiques

Nous retiendrons les batteries au plomb (Pb), les "nickel-métal-hydrure" (NiMH) et deux sortes de batteries au lithium : lithium-ion (Li-ion) et lithium-polymère (Li-Po).

Les caractéristiques données ci-dessous sont données à titre indicatif.

	Tension par élément [V]			Densité massique [Wh/kg]	Puissance max massique [W/kg]	Durée de vie (nb de cycles)	Autodécharge % par mois
	U_{MIN}	U_{NOM}	U_{MAX}				
Pb	1,8	2,0	2,2	30 - 50	700	400 - 800	5%
NiMH	1,0	1,2	1,4	60 - 110	900	800 - 1000	20%
Li-ion	2,8	3,6	4,2	90 - 180	1500	500 - 1000	10%
Li-Po	2,8	3,7	4,2	100 - 130	250	200 - 300	10%

Les précautions d'utilisation

Dans tous les cas, la durée de vie de la batterie dépend fortement de sa manipulation !

Le plus facile à manipuler est l'accu au plomb, vient ensuite le NiMH et enfin le lithium.

En pratique l'accu au plomb peut se charger à tension constante, les NiMH à courant constant et les batteries au lithium nécessitent des chargeurs spécialisés.

Idéalement on charge les accus NiMH à courant $I [A] \approx 0,2 * \text{Capacité [Ah]}$ et on s'arrête dès que $dV/dt \approx 0$; la charge des accus au lithium se fait en 2 phases : I constant puis U constant.

Il est utile de bien se renseigner sur les précautions et spécificités de votre batterie, par exemple : l'accu au Pb accepte bien les pointes de courant, les NiMH ne resteront pas chargées très longtemps, les accus au lithium nécessitent beaucoup de précautions,...

Références : claude.lahache.free.fr/coursts1elpartie/piles-et-accus.pdf robertponge.com/telechargements/ebooks/accus.pdf

* Pour une pile, la borne négative est l'anode qui donne des électrons. La cathode (+) capte les électrons.

SITUATION D'APPRENTISSAGE 1

Fiche de description

Modification d'un circuit d'alimentation pour fonctionner également sur batterie.

Description

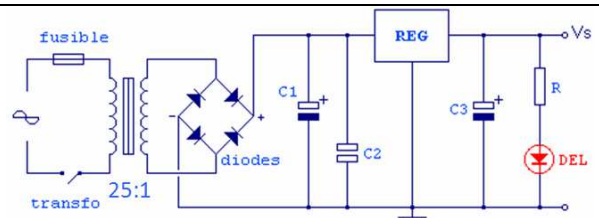
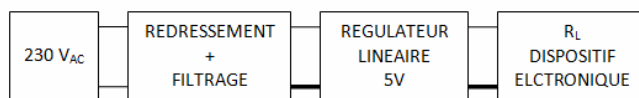
Un dispositif électronique est alimenté à l'aide d'un circuit d'alimentation simple fourni. On peut symboliser ce dispositif par une charge R_L connectée entre V_S et la masse. Nous ne connaissons pas la valeur de R_L mais nous savons que l'énergie extraite du secteur (230 V_{AC} / 50 Hz) est de 0,156 kWh lorsque le circuit reste connecté pendant 24 heures. L'idée est de modifier le circuit d'alimentation actuel pour que notre dispositif électronique puisse fonctionner sur batterie (8 éléments NiMH comme représenté sur le "schéma bloc"). L'utilisation du dispositif électronique sera classiquement sur batterie la journée et sur secteur la nuit. Pour ce faire, l'autonomie de la batterie doit être supérieure à 12 heures.

Cahier des charges

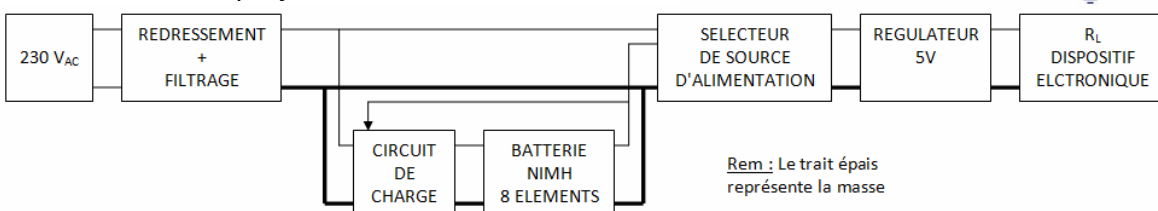
- 1.) Estimez la valeur de R_L , la puissance absorbée au niveau du secteur, la puissance consommée par la charge et le rendement de l'alimentation.
- 2.) En considérant des accumulateurs NiMH de 4000mA, calculez l'autonomie maximale du dispositif alimenté sur batterie. Que vaut le rendement dans ce cas ?
- 3.) Dans l'éventualité où l'autonomie calculée n'atteint pas 12 heures, que proposez-vous comme modification au circuit? Quelle autonomie pouvez-vous espérer alors ?
- 4.) En considérant que l'on recharge les batteries tous les jours en fin de journée, quelle fraction du courant nominal préconisez-vous pour le circuit de charge? Justifiez.
- 5.) Dans ces conditions, quelle résistance série peut-on imaginer pour que le circuit de charge se fasse à courant constant ? Quelle est le temps maximum de charge?
- 6.) Dans le cas de notre application, combien de jours peut-on espérer voir notre batterie NiMH fonctionner avant de devoir la remplacer?
- 7.) Tentez de retrouver le schéma électrique du "sélecteur de source d'alimentation" sachant que c'est l'alimentation de tension la plus élevée qui sera sélectionnée. Indice : Le schéma est constitué de deux diodes.
- 8.) Quelle(s) modification(s) pourra-t-on trouver au niveau des signaux/grandeurs électriques du régulateur lorsqu'on passe d'une alimentation secteur à la batterie ?

Schémas

"Schéma bloc" et schéma actuels du projet.



"Schéma bloc" du projet futur.



Rem : Le trait épais représente la masse

SITUATION D'APPRENTISSAGE 1

:

**Evaluation de l'UAA3
Electronique de puissance**

Date	Classe	Prénom + nom

En vous basant sur la fiche de description de la situation d'apprentissage 1, rédigez ci-dessous un rapport concernant les points 1 à 7.)

SITUATION D'APPRENTISSAGE 1

:

**Evaluation de l'UAA1
Régulation**

Date	Classe	Prénom + nom

En vous basant sur la fiche de description de la situation d'apprentissage 1, rédigez ci-dessous un rapport concernant le point 8.)

N'hésitez pas à rentrer dans les détails du fonctionnement du régulateur et à faire un rapprochement avec le principe général d'une régulation en boucle fermée.

Base de planification jusqu'à la situation d'apprentissage 2

SEM 1	Introduction aux automates L'automate du point de vue matériel
SEM 2	Introduction au Ladder Ladder, fonctionnalités supplémentaires
SEM3	Notions de base du Grafcet
SEM4	Exercices de programmation Grafcet
SEM5	Situation d'apprentissage 2

Planification prévisionnelle jusqu'à la situation d'apprentissage 2

Semaine	

Compléter le planning prévisionnel en classe

Introduction aux automates

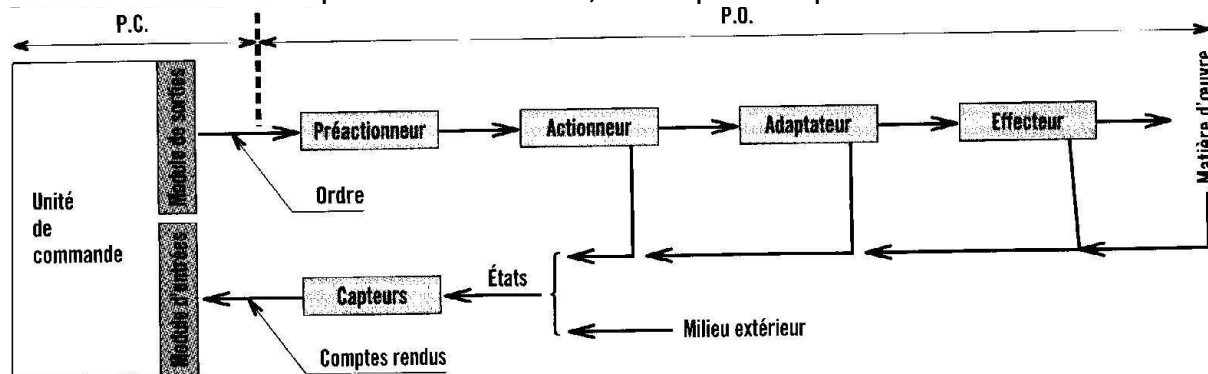
API (Automate Programmable Industriel), PLC (Programmable Logic Controller) Dispositif électronique destiné à gérer un processus industriel.

L'API va exécuter son programme de manière à agir sur le monde extérieur en donnant principalement des ordres destinés aux actionneurs sur base des comptes-rendus fournis par les capteurs.

Chaîne d'action et chaîne d'acquisition

La chaîne d'action traite un ordre donné par une sortie de l'API

L'API reçoit des comptes rendus (entrées) de la chaîne d'action ou de l'extérieur. PC est la partie commande, PO la partie opérative.



Architecture d'un API

Le coeur de l'API est l'unité centrale (ou unité de traitement) qui va exécuter les instructions. Les instructions les plus basiques sont des opérations arithmétiques et logiques.

L'API contient aussi des périphériques d'entrées / sorties et une interconnexion possible à des bus de communication (modbus, profibus, profinet, ...).

Le paramétrage et la programmation de l'API se fera au travers d'une couche logicielle (système d'exploitation) prévue à cet effet.

L'API s'apparente plutôt à une sorte d'ordinateur spécialisé.

L'API dans son environnement

L'environnement de l'API est le processus industriel.

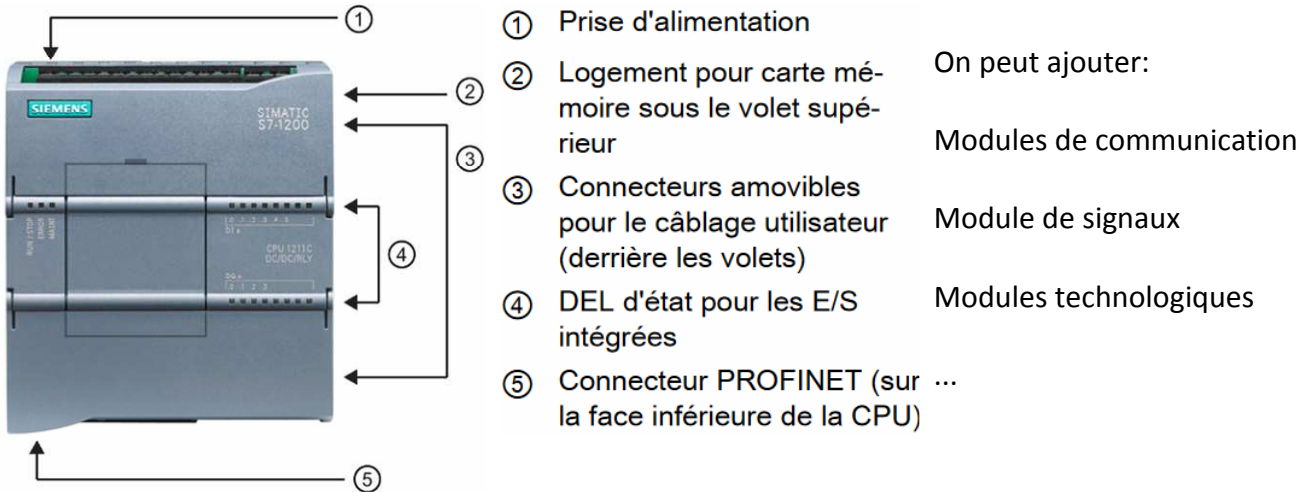
On commencera par étudier différents modules qui formeront ensemble notre première base de matériel didactique :

Une alimentation 24V, un automate, un module réseau, un OP (operator panel)

L'interconnexion de ces modules se fera à l'aide d'un support, une fiche 230V, un rail DIN et des câbles.

L' automate du point de vue matériel

Exemple d'API (l'automate Simatic S7-1200 de Siemens) :



Différents types de mémoires :

- La mémoire de travail qui est une mémoire volatile qui contient des données nécessaires pendant l'exécution du programme.
- La mémoire de chargement qui est une mémoire non volatile qui contient le programme, la configuration et certaines données.
- La mémoire rémanente permet de conserver certaines données de la mémoire de travail lors d'une coupure de courant.

Pour rappel, il y a des mémoires types "mortes" qui ne s'effacent pas lorsqu'on coupe l'alimentation (ROM, PROM, EPROM, EEPROM et flash EPROM) et des mémoires volatiles qu'on divise en deux catégories : SRAM (RAM statique) et DRAM (RAM dynamique) qui nécessite un rafraîchissement régulier.

Introduction aux bus :

MODBUS	PROFIBUS	PROFINET
Créé en 1979, pour réseaux d'automates, deux modes : Le mode RTU (Remote Terminal Unit, principe maître-esclave), seul le maître est actif. Le mode TCP (Ethernet), principe client-serveur, seul le client est actif.	Process Field Bus est un bus de terrain. les variantes Profibus-DP (<i>Decentralized Peripherals</i>) et Profibus-PA (<i>Process Automation</i>), moins répandus, ont été créés dans les années 90'. Aujourd'hui le PROFINET est très utilisé.	Profinet continue à se développer dans les années 2000, il est basé sur Ethernet et les standards de HTTP, FTP, SMTP,... Profinet permet d'intégrer facilement tous les bus de terrain.

Introduction au Ladder

Le ladder signifie échelle en anglais. Ce langage de programmation graphique se nomme ainsi parce que la représentation d'un "ladder diagram" ressemble à une échelle. Appelé également "schéma à contacts", ce langage tient pour origine la façon matérielle dont on réalisait les fonctions logiques.

La première publication des normes du langage ladder eut lieu en 1993 au travers de la norme CEI 61131-3 qui définissait cinq langages pour API.

Exemple de logiciel ladder : TRILOGI

Pour prendre en main les fonctionnalités du ladder, il est pratique de disposer d'un logiciel. Le logiciel "TRILOGI" fournit un lien gratuit par e-mail.

Principe général du ladder

Comme représenté ici à droite, on trouve une représentation graphique en forme d'échelle. Les montants gauches et droits de l'échelle correspondent aux deux bornes d'alimentation. Les barreaux de l'échelle correspondent à des circuits qui seront ouverts ou fermés suivant les configurations de différents contacts.

Les composant principaux sont :

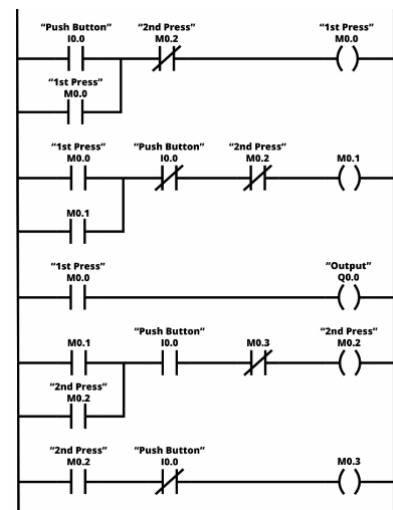
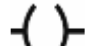
Les contacts normalement ouverts :



Les contacts normalement fermés :



Les bobines normalement ouvertes :



<http://www.plcacademy.com>

Exemple de fonction logique

Ci-dessous un exemple de sortie S (symbolisée par une bobine) qui sera active dès que son expression logique sera à '1'. $S = (A+B) * (/F)$



Les expressions logiques

Les fonctions ET/OU sont réalisées en plaçant les éléments en série/parallèle.

Exemple d'exercice : $S = (/B) + (/A) * C$

Ladder, fonctionnalités supplémentaires

Même s'il existe la norme CEI 61131-3 qui définit les fonctionnalités du Ladder, celle-ci ne semble pas accessible gratuitement au publique. Nous allons ici examiner les fonctionnalités proposées par le logiciel TRILOGI.

L'éditeur "ladder logic" de TRILOGI

Le logiciel offre la possibilité d'utiliser le langage TBASIC et de manipuler un "ladder diagram". On peut ensuite simuler nos fonctionnalités.

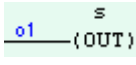
Nous allons ici nous consacrer à la partie "ladder diagram", le menu d'aide décrit ses fonctionnalités plus en détail et propose un tutoriel.

Fonctionnalités fondamentales du ladder

Les contacts permettent de simuler des entrées de l'API en précisant la configuration par défaut (normalement ouvert ou normalement fermé).

Exemples de représentation de contacts : 

Les bobines permettent de représenter des sorties de l'API.

Exemple de représentation de bobine : 

Les relais sont représentés comme des bobines dont l'usage n'est pas destiné directement à une sortie. L'activation du relais provoque un contact qui peut être réutilisé au sein du circuit.

Exemple de représentation du relais et de son contact : 

Les timers sont comme des relais qui, lorsqu'ils sont activés, ferment leur contact après le délai paramétré.

Les compteurs sont comme des relais qui décrémentent leur valeur après réception d'un flanc montant.

Fonctionnalités plus avancées du ladder

Certaines fonctionnalités se trouvent au sein de l'appellation "Special Bits", on peut y trouver des fonctionnalités d'horloge, du séquenceur,...

Une partie "Special Functions" permet des fonctionnalités particulières.

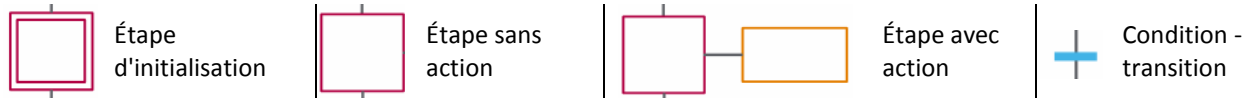
Exemples à tester

Certains sites Internet donnent de bons exemples basés par exemple sur de boutons de marche/arrêt, l'utilisation de maintiens,... et des fonctionnalités supplémentaires.

Notions de base du Grafcet (Graph Fonctionnel de Commande Etape Transition)

Ce cours, inspiré des diapositives de David Rouchard (ECAM), a pour objectif de comprendre le mécanisme général du Grafcet au travers de certaines fonctionnalités uniquement.

Éléments du Grafcet



Une étape représente souvent la situation où l'on est en train de faire une (des) action(s). Chaque étape est identifiée par un numéro unique. Un point apparaît sur une étape active. Une condition-transition (C.T.) est une expression booléenne (condition) nécessaire au passage d'une étape à une autre (transition). La transition ne peut avoir lieu que si la C.T. est vraie et que toutes les étapes précédentes directement connectées à cette C.T. sont actives.

Exemple de Grafcet

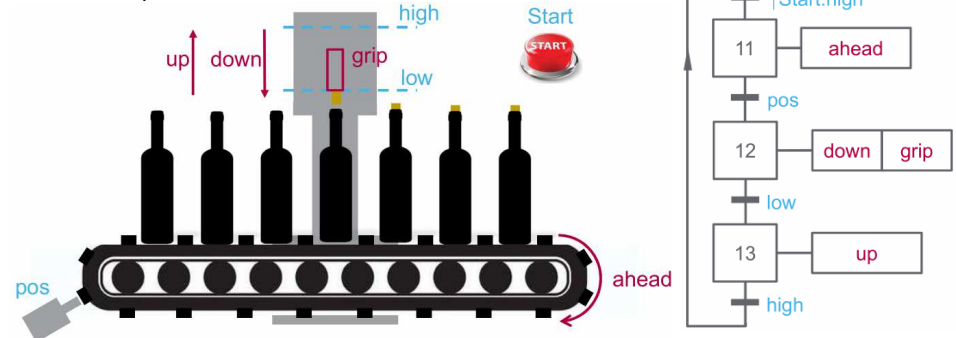
Entrées / Capteurs :

Start → pour démarrer
 pos → position tapis OK
 high → côté bouchon
 low → côté bouteille

Sorties / Actionneurs :

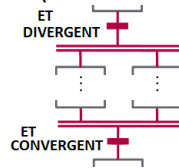
ahead → avancer tapis
 grip → saisir bouchon
 up → monter pince
 down → descendre pince

Placement de bouchons sur des bouteilles
 Lors d'un flanc montant (symbolisé par une flèche montante) sur Start on place un bouchon sur la bouteille suivante.



Règles et recommandations

- Tout Grafcet doit contenir au moins une étape d'initialisation (souvent la situation de repos et mise dans la boucle).
- Une étape active suivie d'une C.T. vraie activera, en aval, toutes les étapes connectées à cette C.T. → ET DIVERGENT
- Toutes les étapes reliées en amont à une C.T. doivent être actives pour permettre la transition → ET CONVERGENT
- Une étape désactivée tout de suite après son activation ne verra pas ses actions associées exécutées.
- Une étape réactivée tout de suite après sa désactivation sera assimilable à une étape active.



Lorsque la structure fait apparaître un ET divergent, il est recommandé de retrouver plus loin un ET convergent. Remarque : Il est souvent utile d'avoir une étape d'attente avant un ET convergent.

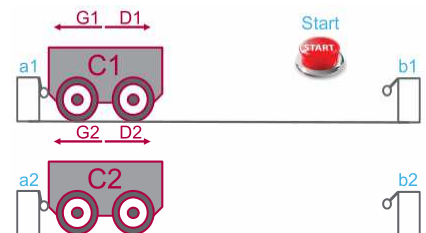
Exercices Gestion de deux convoyeurs C1 et C2

Entrées / Capteurs :

Start → pour démarrer
 a1 → C1 coté gauche
 b1 → C1 coté droit
 a2 → C2 coté gauche
 b2 → C2 coté droit

Sorties / Actionneurs :

G1 → déplacer C1 à gauche
 D1 → déplacer C1 à droite
 G2 → déplacer C2 à gauche
 D2 → déplacer C2 à droite



- 1.) Commandez C1 en l'autorisant à faire un aller-retour par un flanc montant sur Start.
- 2.) Commandez C1 en l'autorisant à faire un trajet (aller ou retour) par un flanc montant sur Start.
- 3.) Un flanc montant sur Start doit provoquer un aller-retour de C1 suivi d'un aller-retour de C2.
- 4.) Un flanc montant sur Start doit provoquer un départ simultané de C1 et C2.
 Ce n'est qu'une fois qu'ils sont tous les deux arrivés (ils ne vont pas à la même vitesse) qu'ils reviennent à gauche.

Exercices de programmation Grafset

1.) Gérez le fonctionnement d'un escalator une personne

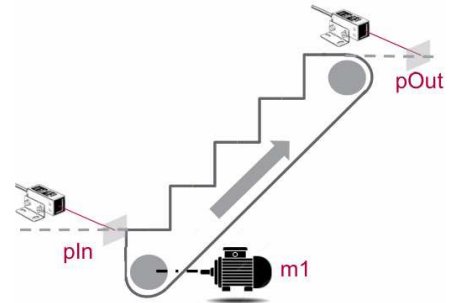
On considère que l'escalator ne transportera au maximum qu'une seule personne à la fois.
Le moteur doit démarrer lorsqu'une personne se présente à l'entrée de l'escalator et s'arrêter lorsqu'elle en sort.

Entrées / Capteurs :

pIn → présence à l'entrée
pOut → présence à la sortie

Sorties / Actionneurs :

m1 → avancer escalator



2.) Gestion binaire par commande Start et Stop

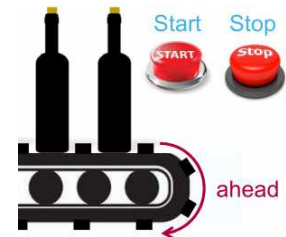
On considère simplement que seuls les boutons Start et Stop commandent le tapis.
Si le bouton Stop est relâché, le tapis démarre sur un flanc montant de Start.
Le tapis s'arrête dès que Stop est enfoncé.

Entrées / Capteurs :

Start → pour démarrer
Stop → pour arrêter

Sorties / Actionneurs :

ahead → avancer tapis



3.) Gérez le chargement et déchargement du Trolley

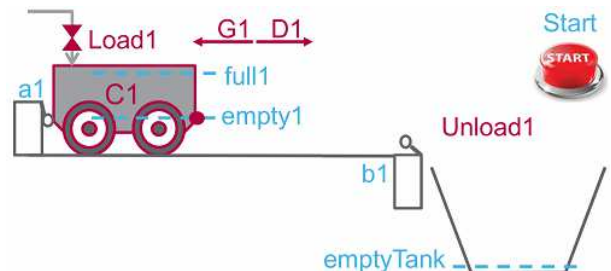
Le trolley commence un "chargement puis déchargement" sur un flanc montant de Start. Vous ne devez pas gérer le vidage du container mais vous assurer que celui-ci est vide avant de procéder au déchargement du trolley.

Entrées / Capteurs :

Start → pour démarrer
a1 → C1 coté gauche
b1 → C1 coté droit
full1 → C1 est chargé
empty1 → C1 est vide
emptyTank → container vide

Sorties / Actionneurs :

Load1 → chargement C1
Unload1 → déchargement C1
G1 → déplacer C1 à gauche
D1 → déplacer C1 à droite



4.) Gérez un nouveau placement d'un bouchon et d'une étiquette lors d'un flanc montant sur Start :

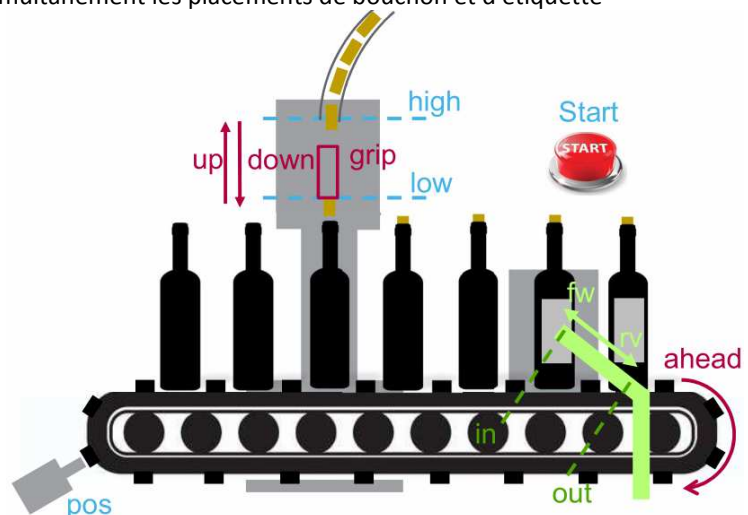
- a.) De manière non efficace en plaçant d'abord le bouchon puis l'étiquette
- b.) De manière plus rentable en gérant simultanément les placements de bouchon et d'étiquette

Entrées / Capteurs :

Start → pour démarrer
pos → position tapis OK
high → côté bouchon
low → côté bouteille
in → placeur étiquette coté bouteille
out → placeur étiquette hors bouteille

Sorties / Actionneurs :

ahead → avancer tapis
grip → saisir bouchon
up → monter pince
down → descendre pince
fw → placement étiquette
rv → retour placeur d'étiquette



SITUATION D'APPRENTISSAGE 2 Fiche de description

Etude d'une chaîne automatique de placement de bouchons et d'étiquettes.

Description

On vous demande de produire certains documents relatifs à la chaîne automatique de montage illustrée ci-dessous.

Cahier des charges

- 1.) Sur base de l'illustration de la chaîne de montage, listez l'ensemble des chaînes d'actions et des chaînes d'acquisition qui la constitue.
- 2.) Représentez de manière plausible les différentes chaînes d'actions / d'acquisition et leurs constituants au sein d'un seul schéma bloc global.
On doit voir apparaître clairement les informations traitées par la partie commande et les blocs fonctionnels de la partie opérative.
- 3.) Concevez la deuxième partie du Grafcet qui gère le placement automatique des bouchons et des étiquettes sur les bouteilles.
Le Grafcet complet est alors constitué de deux parties s'exécutant simultanément.
L'idée est d'exploiter, au même titre qu'une entrée classique, l'information "Start_mem" fournie par la première partie du Grafcet.
En cas d'enfoncement du bouton Stop, la gestion du bouchon et de l'étiquette en cours doit se terminer avant la mise à l'arrêt du processus.
- 4.) Sur base de la partie du Grafcet gérant le Start/Stop, représentez un "Ladder Diagram" qui assure la même fonctionnalité.
On peut remarquer que l'information "Start_mem" est gérable au travers d'un relais.

Grafcet

Partie du Grafcet gérant le Start/Stop

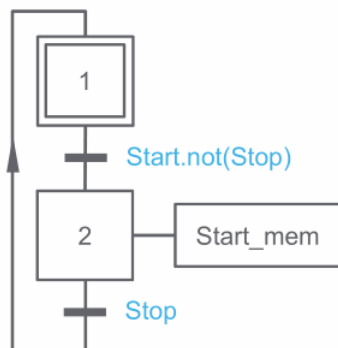
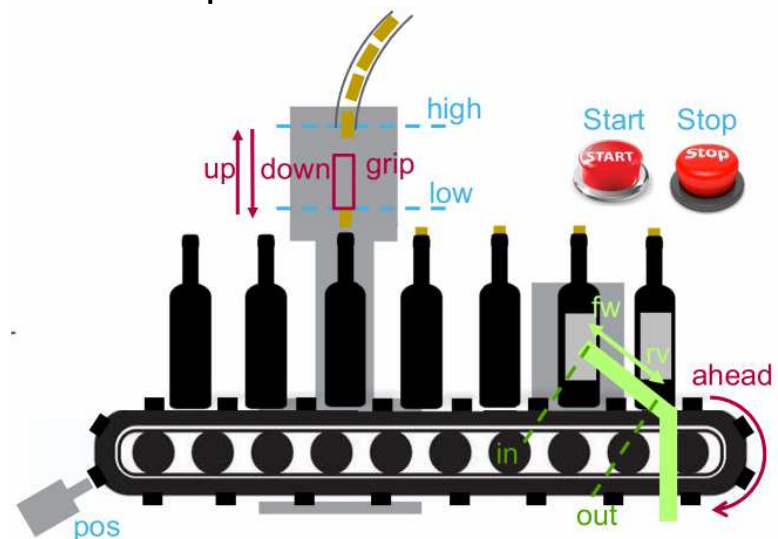


Illustration du processus



Les entrées : "Start", "Stop", "pos", "high", "low", "in", "out"
 Les sorties : "up", "down", "ahead", "fw", "rv"

SITUATION D'APPRENTISSAGE 2

:

**Evaluation de l'UAA2
Systèmes automatisés**

Date	Classe	Prénom + nom

En vous basant sur la fiche de description de la situation d'apprentissage 2, rédigez ci-dessous un rapport concernant l'ensemble des points.

En considérant l'organisation du cours et les matières qui y seront abordées, nous allons poursuivre notre étude de manière plus classique au travers de chapitres.

Ces chapitres ne se clôtureront plus par une situation d'apprentissage, ils feront l'objet d'évaluations plus académiques.

Chapitre 3 : Introduction aux composants de puissance

Base de planification du chapitre 3

SEM 1	Le transistor en commutation
SEM 2	L'utilisation d'un relais comme interface de puissance
SEM3	Quelques composants de puissance : Les thyristors

Planification prévisionnelle du chapitre 3

Semaine	

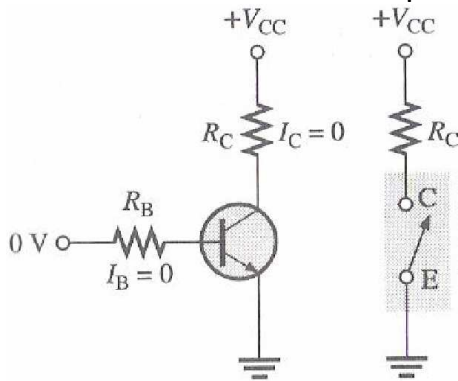
Compléter le planning prévisionnel en classe

Le transistor en commutation

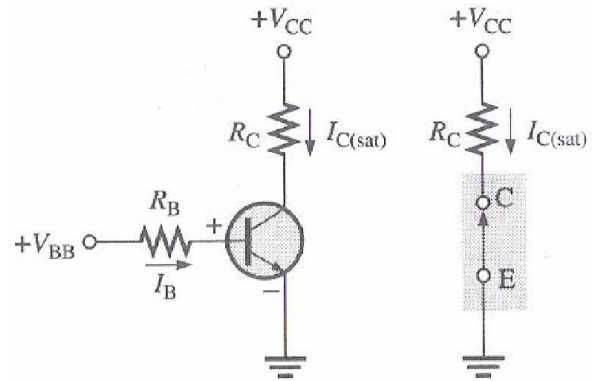
Pour introduire la partie liée à l'électronique de puissance, nous allons voir un circuit d'interface simple qui permet de fournir une certaine puissance à une charge à partir d'un signal de commande de puissance bien plus faible.

Ce circuit qui est le transistor en commutation est expliqué dans l'ouvrage "Electronique - Composants et systèmes d'application, 5^e édition - Floyd".

Le transistor en mode bloqué



Le transistor en mode saturé



Les conditions de fonctionnement

Calculez ce circuit en supposant:

$V_{en} = 5V,$

$V_{CC} = 10V,$

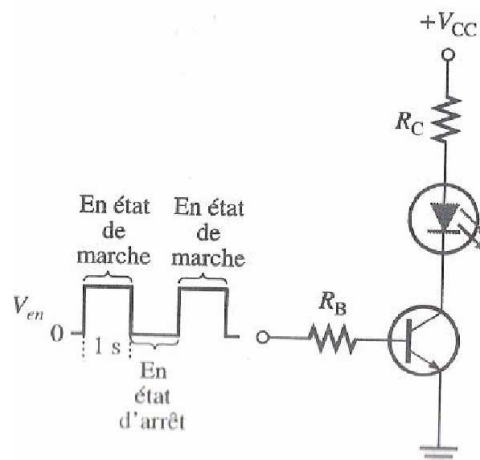
Le seuil de la LED = 2V,

$\beta = 100,$

$R_B = 10k\Omega,$

ET CAS 1 : $R_C = 100 \Omega$

CAS 2 : $R_C = 2200 \Omega$



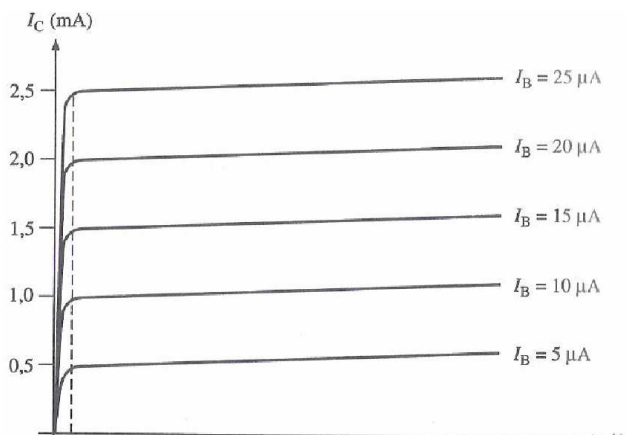
On remarque que $I_C = \beta \cdot I_B$ n'est pas toujours utilisable !

Caractéristiques au collecteur

On voit ici à droite un exemple de caractéristique collecteur d'un transistor NPN.

Le réseau de courbe représente I_C en fonction de V_{CE} pour différentes valeurs de I_B .

Que vaut le β dans cet exemple?

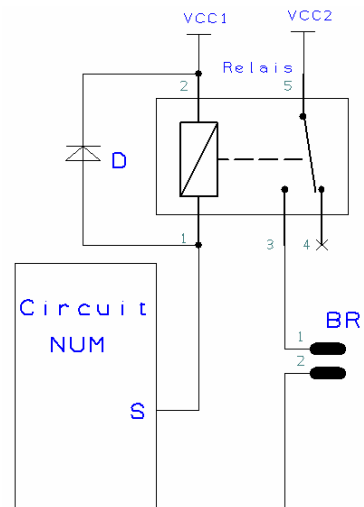


L'utilisation d'un relais comme interface de puissance

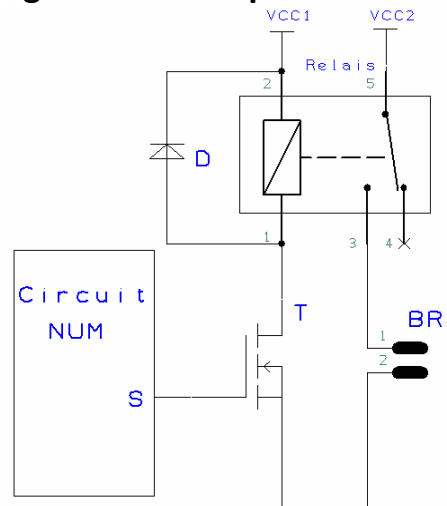
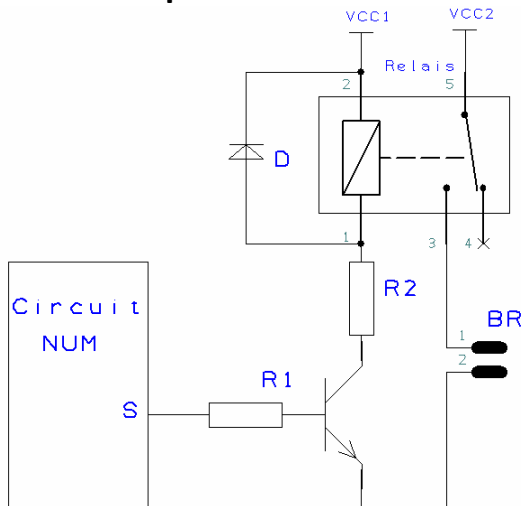
Le transistor en commutation montre un circuit d'interface numérique qui permet de commander une charge d'une certaine puissance avec une commande de puissance bien plus faible. Cependant, pour maintenir des bonnes conditions de fonctionnement, on limite le rapport des courants collecteur et base de quelques dizaines.

Séparation de la commande et de la puissance

Le circuit ici illustre le fait qu'en commandant la bobine du relais à l'aide d'un circuit numérique, on peut commander une charge connectée à "BR". Pour que ça fonctionne le circuit numérique doit être capable d'aspérer un courant supérieur au courant minimum de déclenchement du relais (par exemple 100mA). La commande et la puissance sont séparées par une isolation galvanique. La branche de la charge peut être alimentée en AC, avec une autre tension DC, une autre masse,...

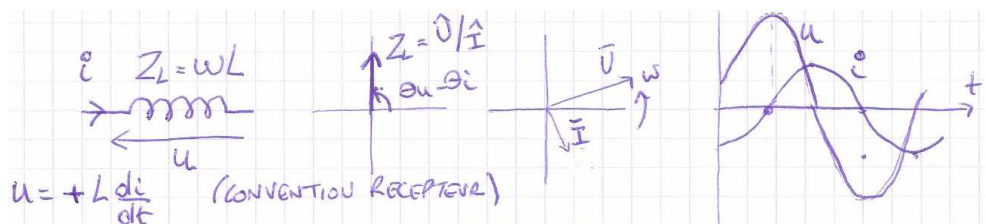


Deux exemples de commande d'un relais par un signal de faible puissance



Roue libre

La diode protège le transistor d'une tension inverse.

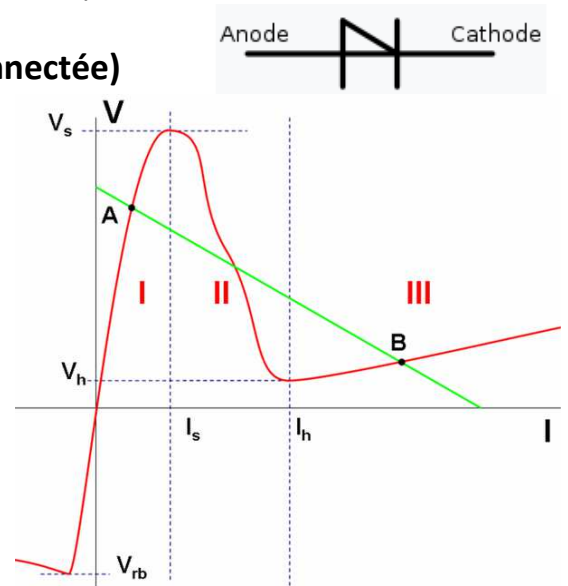


Quelques composants de puissance : Les thyristors

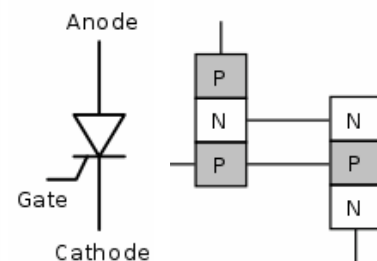
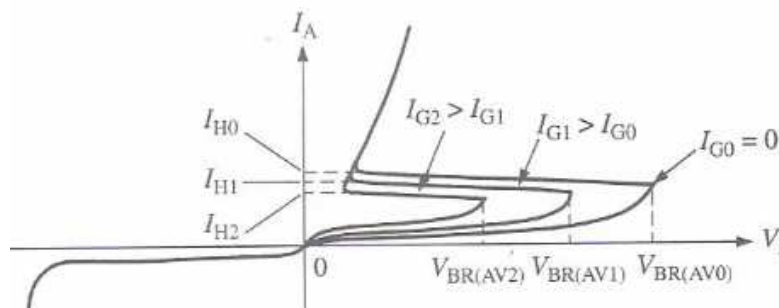
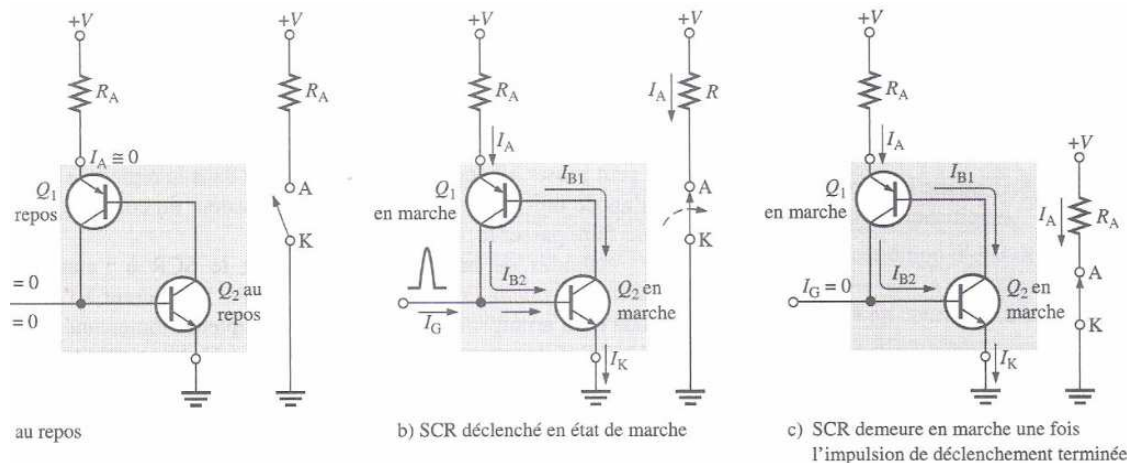
Comme précisé dans l'ouvrage "Electronique - Composants et systèmes d'application, 5^è édition - Floyd ", les thyristors constituent une famille comprenant la diode Shockley, le SCR (Silicon Controlled Rectifier), le diac, le triac,... Cependant lorsqu'on précise "le thyristor" on fait généralement référence au SCR (le redresseur commandé au silicium).

La diode Shockley (ou thyristor avec grille déconnectée)

La zone I est la zone de repos qui correspond à une tension V_{AK} inférieure à la tension de retournement V_{BR} (breakover) = V_s (switching). Cette zone est également appelée région de polarisation directe ou de blocage avant. La zone II correspond au passage de la diode en conduction avec l'équivalent d'une jonction BE passante et un collecteur-émetteur saturé. La zone III correspond à l'état de marche où la diode reste passante tant que le courant reste supérieur au courant de maintien I_H (hold).



Le SCR (couramment appelé "le thyristor") <https://fr.wikipedia.org/wiki/Thyristor>



Chapitre 4 : Introduction aux machines tournantes et leurs interfaces**Base de planification du chapitre 4**

SEM 1	Le principe du pont en H
SEM 2	Le moteur DC et son interface
SEM3	Le moteur pas-à-pas et sa commande

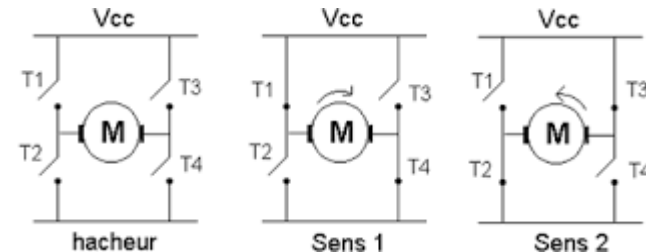
Planification prévisionnelle du chapitre 4

Semaine	

Compléter le planning prévisionnel en classe

Le principe du pont en H

On parle en général du pont en H pour la commande des moteurs car il permet de contrôler sa polarité. Exemples de ponts en H connus : L298, L293, L293D

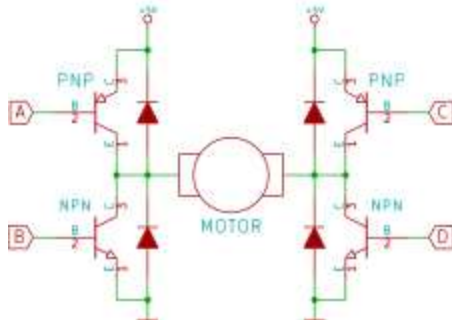


www.technologuepro.com

Le principe du pont en H schématisé ici montre que le sens de rotation du moteur (M) dépend de l'état des interrupteurs T1 à T4; On voit qu'on fermant T1 et T4, le moteur tourne dans un sens, en fermant T2 et T3, le moteur tourne dans l'autre sens.

Les interrupteurs sont en réalité des transistors commandés par des signaux de commande.

On peut les représenter à l'aide de transistors bipolaires ou à effet de champ.

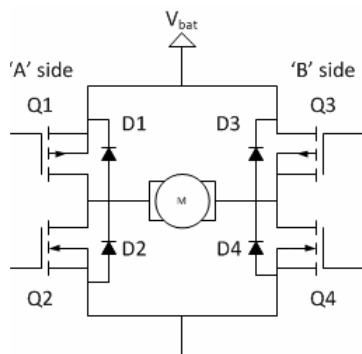


<https://openclassrooms.com>

Ici T2 et T4 sont des NPN et T1 et T3 des PNP car il est plus simple de contrôler la conduction de la jonction base-émetteur d'un transistor bipolaire lorsque le potentiel de l'émetteur est fixé.

Il est également nécessaire d'ajouter des résistances de base aux 4 transistors car les bipolaires sont commandés en courant.

On voit aussi apparaître des diodes de roues libres qui, comme pour le relais, assurent une protection .



Pour un canal N (partie inférieure), le transistor MOSFET à enrichissement permet de contrôler la conduction du transistor à l'aide d'une tension VGS positive. Le canal (drain-source) se comportera comme une résistance d'autant plus faible (proche d'un interrupteur fermé) que VGS est élevé (caractéristique I_D). Pour un canal P, on doit changer le signe des tensions.

La technologie CMOS utilise la complémentarité du canal N et P.

http://www.modularcircuits.com/blog/articles/h-bridge-secrets/h-bridge_drivers/

On dit qu'on utilise 2 demis ponts (half bridge) pour commander un moteur DC dans les deux sens. Pour le commander dans un seul sens on pourrait utiliser un demi-pont uniquement.

Pour influencer la tension aux bornes du moteur DC, on utilise une astuce qui va modifier la tension moyenne en utilisant un signal numérique.

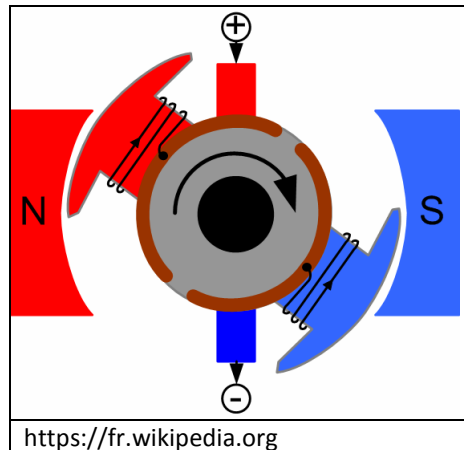
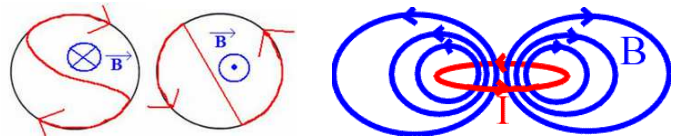
On va par exemple fournir un signal de type carré dont les niveaux sont 0 - 5V et faire varier le rapport cyclique (fraction de la période dont le signal est au niveau haut).

A titre d'exemple, si on imagine un rapport cyclique de 50%, c'est comme si on demandait au moteur de tourner vite (tension de 5V) pendant 50% du temps et d'être à l'arrêt (tension de 0V) pendant 50% du temps.

Si les commandes AVANCER - STOP - AVANCER - STOP - ... sont assez rapides, le moteur se comportera comme si on lui appliquait la tension moyenne de 2,5V à ses bornes.

Le moteur DC et son interface

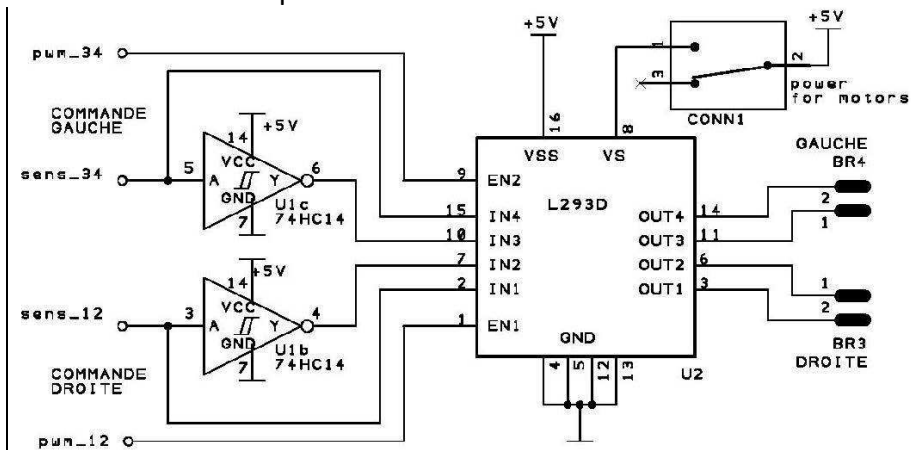
Nous allons considérer le cas le plus simple où la partie fixe du moteur (le stator) crée un champ magnétique (inducteur) fixe à l'aide d'un aimant permanent. La partie tournante (le rotor) est solidaire d'un ensemble de spires (enroulement) au travers desquelles circule un courant électrique. Ce dernier circule au travers des bornes du moteur grâce à des balais au collecteur permettant un contact électrique continu malgré la rotation.

 <p>https://fr.wikipedia.org</p>	<p>Pour comprendre le mécanisme du moteur, on peut voir la manière dont un courant au travers d'une spire, d'un enroulement, provoque un pôle nord et un pôle sud.</p>  <p>En regardant un enroulement de l'extérieur, le champ magnétique rentre dans le pôle sud et sort du pôle nord. L'interaction du champ inducteur (aimant) et induit fait apparaître les forces préservant la rotation (les pôles identiques se repoussent, les pôles opposés s'attirent).</p>
---	--

Lorsque le rotor a tourné d'un demi-tour, l'orientation du champ magnétique de l'enroulement est conservé grâce au changement de la polarité collecteurs - balais.

En pratique, on peut considérer simplement que la vitesse du moteur dépend de la tension à ses bornes et les sens du moteur dépend de sa polarité.

Ci-dessous un exemple de circuit d'interface moteur utilisant le L293D (diodes intégrées).

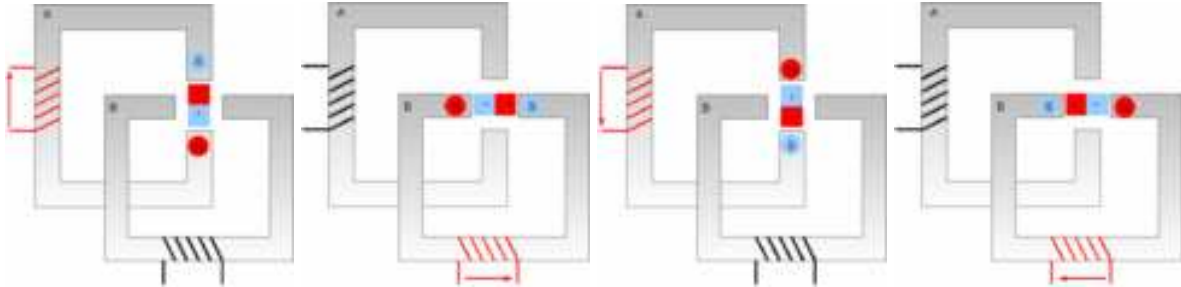
	<p>En bref :</p> <p>Les signaux PWM commandent la vitesse.</p> <p>Les signaux SENS commandent le sens des moteurs.</p> <p>BR3 et BR4 sont connectés aux moteurs.</p>
--	--

Le L293D est un quadruple demi pont. Deux demis ponts servent à la gestion du moteur droit (via IN1, IN2 et EN1) et les 2 autres à la gestion du moteur gauche (via IN3, IN4 et EN2). Chaque pont en H, constitué de ses 4 transistors principaux, ne nécessite que 2 signaux d'entrée de commande car les transistors constituant un demi pont ne conduisent jamais en même temps. L'entrée ENABLE peut servir à activer le moteur ou à commander sa vitesse. Le circuit ci-dessus utilise l'entrée ENABLE pour la commande de vitesse et gère le sens du moteur à l'aide d'un circuit inversant les entrées de commande de chaque demi pont.

Le moteur pas-à-pas et sa commande

Nous allons considérer un moteur à aimant permanent bipolaire.

L'idée est de commander l'orientation du rotor (solidaire avec l'aimant) au travers du champ magnétique externe. Pour bien comprendre ce qu'il se passe, on va imaginer un bobinage A vertical et un bobinage B horizontal comme sur la figure ci-dessous (<https://fr.wikipedia.org>).

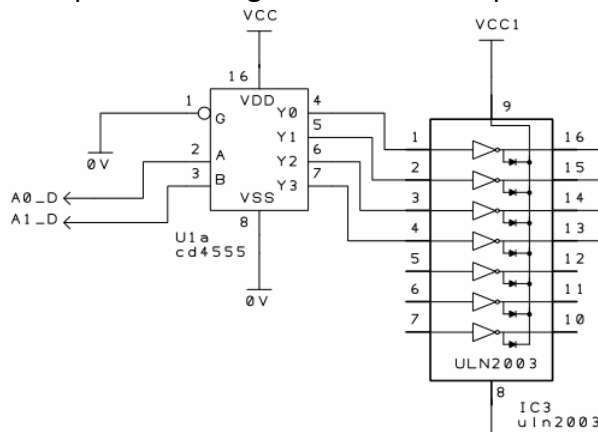


Pour un sens de rotation horlogique, on peut effectuer la séquence de gauche à droite.

En réalité la séquence complète ne fera pas tourner le rotor de 360° mais de 4 pas où chaque pas correspond à un angle donné (par exemple 7,5° pour un moteur 48 pas).

Il est également possible de commander le moteur par demis pas.

Exemple de montage avec un démultiplexeur suivi d'un driver

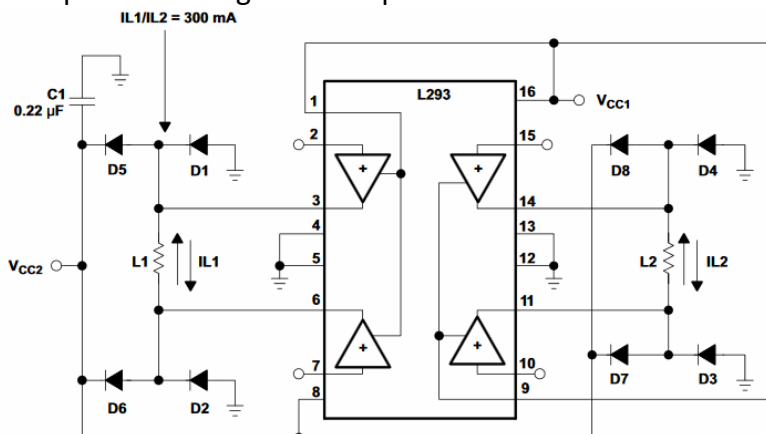


Ce montage n'est pas classique mais illustre une manière de commander un moteur pas-à-pas bipolaire par pas complets.

Les bits d'adresse A0 et A1 permettent de sélectionner la sortie du démultiplexeur qui sera à 1.

Les 4 sorties du driver sont destinées à être connectées aux deux bobinages du moteur.

Exemple de montage avec un pont en H



Ce montage est proposé dans la documentation du L293.

Chaque demi pont est connecté à une extrémité d'un enroulement du moteur.

Le L293 qui comprend 4 demis ponts permet de commander les deux enroulements du moteur bipolaire.

<http://www.ti.com>

Il existe des variantes de "stepper motor drivers" utilisant des commandes step et dir.

Chapitre 5 : La régulation PID**Base de planification du chapitre 5**

SEM 1	Approche intuitive d'une régulation PID
SEM 2	Evaluation chiffrée d'actions de régulation
SEM3	Evaluation chiffrée d'actions de régulation, suite
SEM4	Régulation P&I
SEM5	Régulation PID

Planification prévisionnelle du chapitre 5

Semaine	

Compléter le planning prévisionnel en classe

Approche intuitive d'une régulation PID

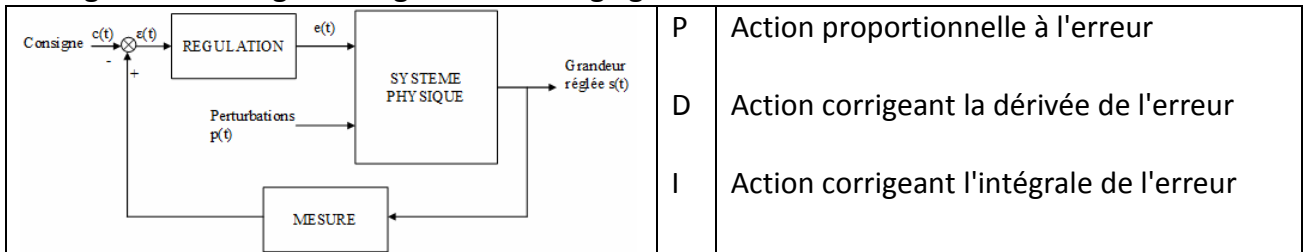
Régulation

La régulation est un ensemble de moyens mis en œuvre au sein d'un système physique pour agir sur une grandeur physique du système (la grandeur à régler) de sorte à atteindre l'objectif voulu (la consigne).

Variable d'entrée, variable de sortie

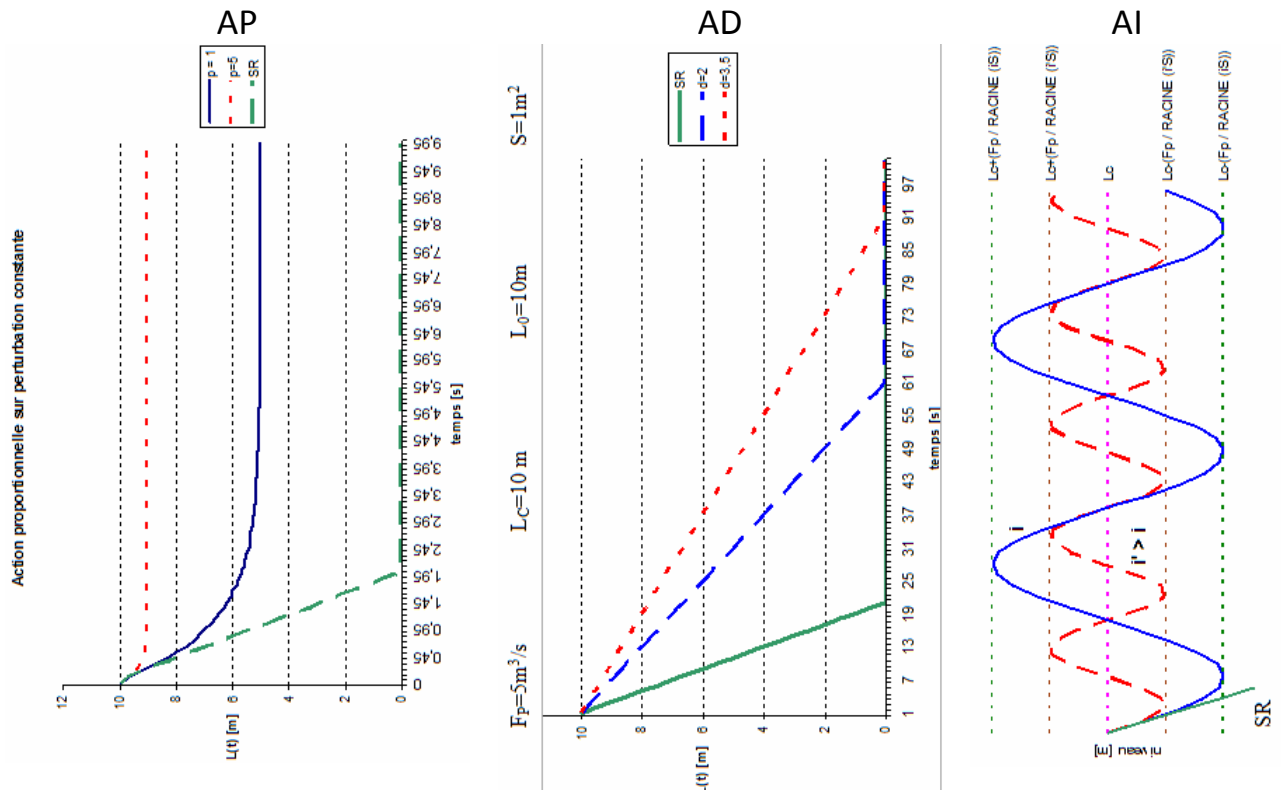
En régulation on appelle variable d'entrée tout ce qui agit sur l'état du système et variable de sortie tout ce qui caractérise le système.

Le régulateur PID agit sur la grandeur de réglage



Remarque : Il est plus courant de retrouver les signes inversés pour constituer l'erreur. Nous resterons cependant avec cette convention qui fait apparaître un signe - pour montrer une action correctrice

Problème didactique de la régulation du niveau L de la cuve sur perturbation constante.



Evaluation chiffrée d'actions de régulation

Nous allons supposer que nous sommes dans le cas du problème didactique de la cuve qui consiste à contrôler le niveau $L(t)$ de sorte à atteindre la consigne L_C . Nous allons imaginer que la consigne est constante ($L_C = 10m$) et que la surface de la base de la cuve fait $5m^2$.

Nous allons considérer que nous travaillons avec les unités du S.I :

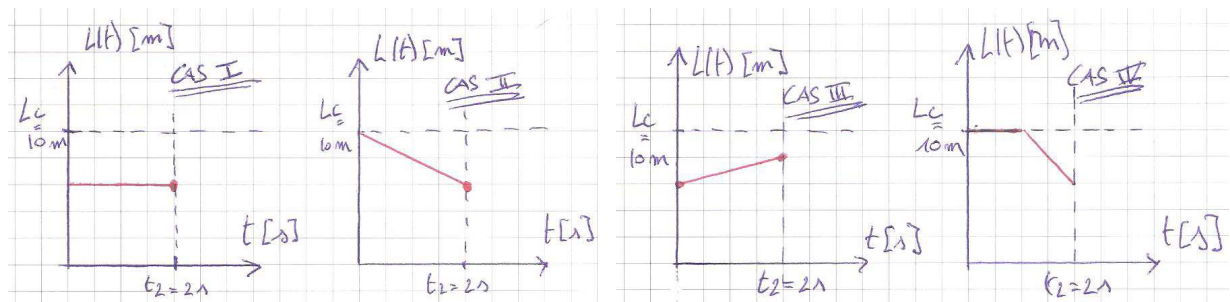
- $L(t), L_C, \epsilon(t)$ en mètres [m]
- $t, dt, \tau, d\tau$ en secondes [s]
- $F_{IN}(t), F_R(t), F_{OUT}(t), F_P(t)$ en m^3/s

En nous basant sur les expressions ci-dessous des actions proportionnelles (AP), intégrales (AI) et dérivées (AD), on peut en déduire les unités de leurs coefficients de régulations respectifs : p, i, d. Quelles sont-elles ?

$$AP = -p \cdot \epsilon(t) \qquad AI = -i \int_0^t \epsilon(z) dz \qquad AD = -d \cdot \frac{d\epsilon(t)}{dt}$$

1.) Calcul des actions de régulation à l'instant $t = t_2$

Pour chacun des cas représentés ci-dessous, calculez $F_{IN}(t_2) = F_R(t_2)$ en considérant séparément les AP, AI et AD pour des coefficients p, i, et d valant 10 dans leurs unités respectives.



Pour ce faire, commencer par dessinez l'allure de $\epsilon(t)$ avant de prendre en compte les formules ci-dessous :

$$AP(t=t_2) = -p \cdot \epsilon(t_2) \qquad AI(t=t_2) = -i \int_0^{t_2} \epsilon(t) dt \qquad AD(t=t_2) = -d \cdot \left. \frac{d\epsilon(t)}{dt} \right|_{t=t_2}$$

Evaluation chiffrée d'actions de régulation, suite

- 2.) Si on suppose une perturbation nulle après t_2 , tentez de dessiner la suite de l'allure de $L(t)$ pour chacun des cas de figure et type d'action de régulation.

- 3.) Si on suppose une perturbation constante après t_2 qui vaut $5 \text{ m}^3/\text{s}$, tentez de dessiner la suite de l'allure de $L(t)$ pour chacun des cas de figure et type d'action de régulation.

- 4.) Faites la même chose qu'au point 2.) avec des coefficients p , i , et d valant 2 dans leurs unités respectives.

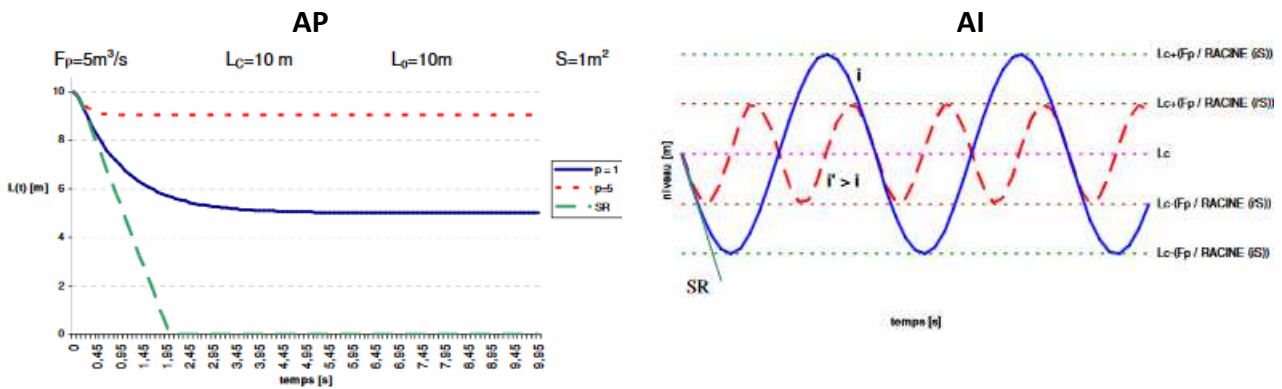
- 5.) Faites la même chose qu'au point 3.) avec des coefficients p , i , et d valant 2 dans leurs unités respectives.

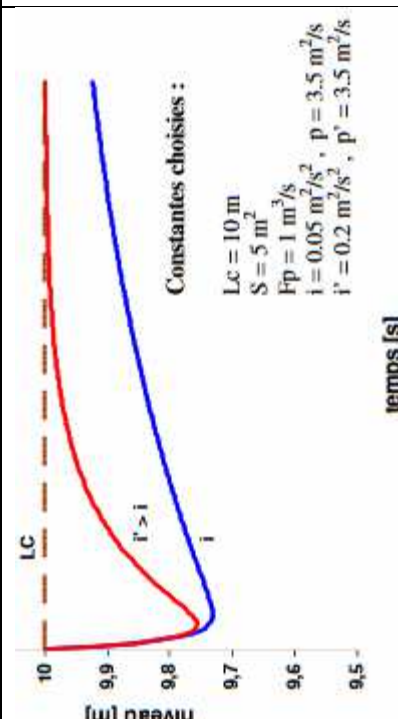
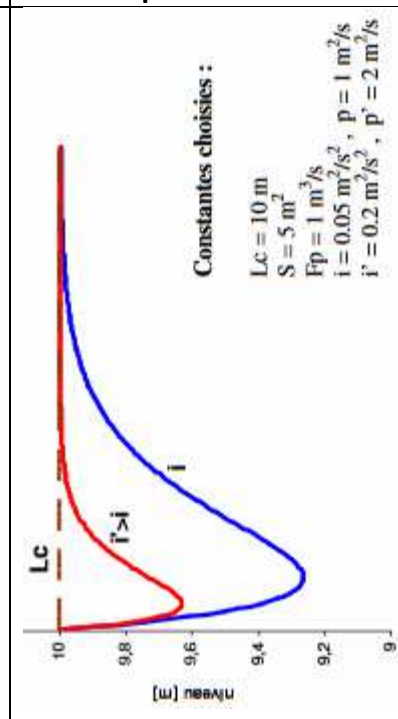
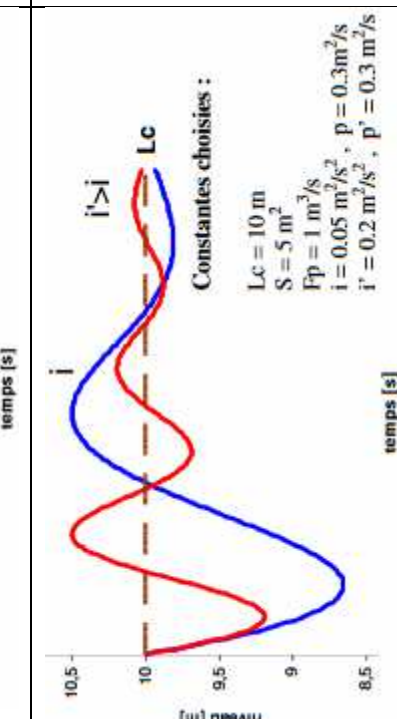
Régulation P&I

Le cours détaillé expliquant la régulation PID pour l'exemple didactique de la cuve est disponible via la source d'information suivante :

http://jpochet.inraci.be/documents/cours/cp_2011_2012_partie_regulation.pdf

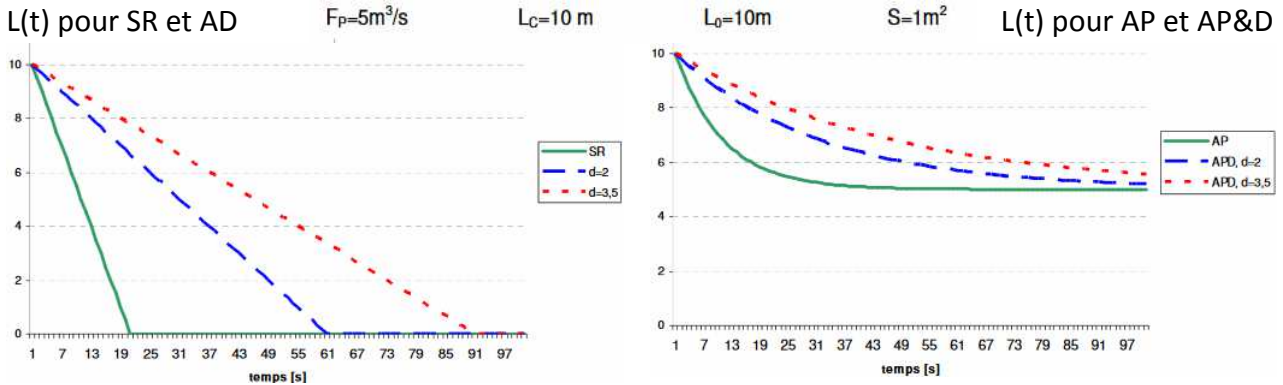
Nous avons vu qu'il était possible de faire de la régulation par action proportionnelle, de la régulation par action intégrale mais qu'en est-il si nous combinons les deux types d'actions?



AP&I - Prédominance AP	AP&I - équilibre AP et AI	AP&I - Prédominance AI
 <p>Constantes choisies :</p> <p>$L_c = 10 \text{ m}$ $S = 5 \text{ m}^2$ $F_p = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ $i = 0.05 \text{ m}^2/\text{s}^2$, $p = 3.5 \text{ m}^2/\text{s}$ $i' = 0.2 \text{ m}^2/\text{s}^2$, $p' = 3.5 \text{ m}^2/\text{s}$</p>	 <p>Constantes choisies :</p> <p>$L_c = 10 \text{ m}$ $S = 5 \text{ m}^2$ $F_p = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ $i = 0.05 \text{ m}^2/\text{s}^2$, $p = 1 \text{ m}^2/\text{s}$ $i' = 0.2 \text{ m}^2/\text{s}^2$, $p' = 2 \text{ m}^2/\text{s}$</p>	 <p>Constantes choisies :</p> <p>$L_c = 10 \text{ m}$ $S = 5 \text{ m}^2$ $F_p = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ $i = 0.05 \text{ m}^2/\text{s}^2$, $p = 0.3 \text{ m}^2/\text{s}$ $i' = 0.2 \text{ m}^2/\text{s}^2$, $p' = 0.3 \text{ m}^2/\text{s}$</p>

Toutes les courbes sont liées à une perturbation constante.

Régulation PID



Ordre d'un régulateur

Nous dirons qu'un régulateur de type PID est un régulateur du premier ordre alors qu'un régulateur de type PI²D est un régulateur du deuxième ordre.

PID → ordre 1
 PI²D → ordre 2
 ...

Type d'action	Utilisé ?	Explication
P	OUI	Possibilité d'action limitée mais relativement simple. Pas d'oscillation.
I	NON	Rien n'empêche de l'utiliser mais comme entraîne d'office une oscillation, pas utilisé en pratique.
D	NON	Pas très fameux seul.
PI	OUI	Permet de résoudre pas mal de problèmes.
PD	OUI	Avec D, l'AP est meilleure.
ID	NON	Comportement oscillatoire intrinsèque.
PID	OUI	Le meilleur, toutes les possibilités d'action. Mais également le plus complexe.

$$r(t) = -G \cdot p \left(\underbrace{\varepsilon(t)}_{AP} + \underbrace{\frac{1}{T_I} \cdot \int_0^t \varepsilon(t) \cdot dt}_{AI} + \underbrace{T_D \frac{d\varepsilon(t)}{dt}}_{AD} \right)$$

Les coefficients deviennent :
 1 pour l'AP - c'est la référence
 T_I pour l'AI. - l'AI augmente si T_I diminue
 T_D pour l'AD. - l'AD augmente si T_D augmente

Interprétation du T_I : Si on suppose que l'on ait affaire à un écart constant, T_I est le temps que met l'AI pour atteindre la valeur de l'AP.