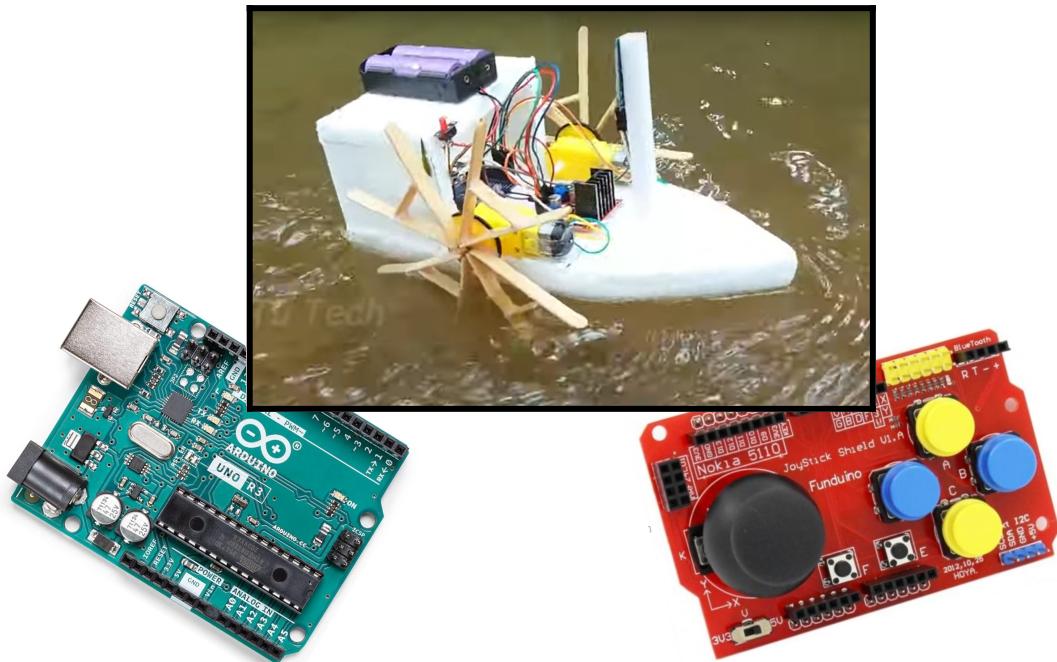


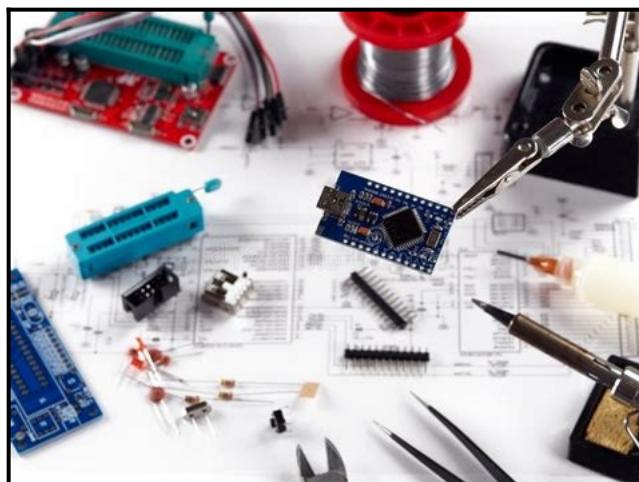
Atelier électronique 2.0

BATEAU TÉLÉCOMMANDÉ



Guide de Construction

Ce guide vous accompagnera pas à pas dans la fabrication d'un bateau télécommandé utilisant la puissance d'Arduino. Vous découvrirez les composants nécessaires, les étapes de montage et le code pour contrôler votre bateau. Préparez-vous à mettre les mains à la pâte !



I. Résumé du projet

Les objectifs de ce projet sont, de s'amuser en construisant un bateau télécommandé, découvrir l'électronique, la soudure, le petit bricolage.

Le projet se découpe en deux objets (chapitre III) :

- La télécommande.
- Le bateau.

En trois fonctionnalités (chapitre IV) :

- Le joystick (sur la télécommande)
- La radio (sur la télécommande et le bateau)
- Le pont en H (sur le bateau)

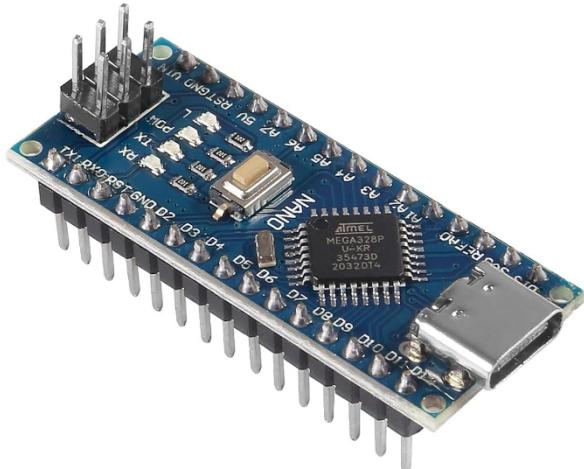
Il faut 3 étapes de conceptions :

- L'électronique de la télécommande
- L'électronique du bateau
- La mécanique du bateau (coque, fixation moteurs, roues à aube)

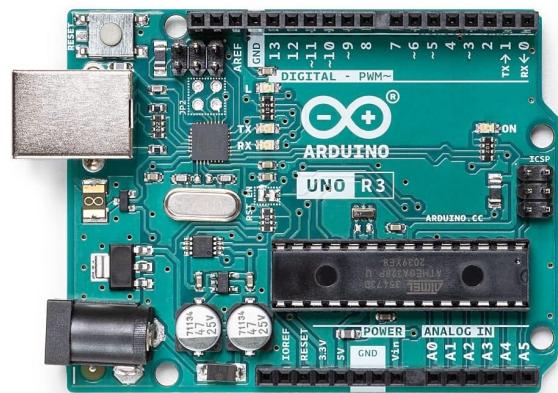
II. Les différentes cartes du projet

Les deux Arduino

Nano pour le bateau.



UNO pour la télécommande

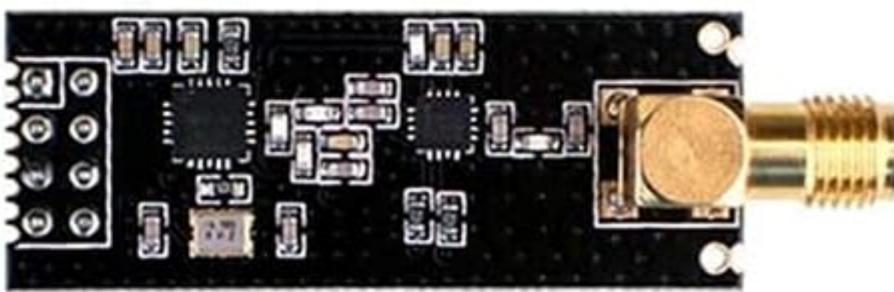


Les cartes « Arduino » sont comme de petits ordinateurs pour l'électronique. Elles sont construites autour d'un **microcontrôleur**.

Les avantages :

- Elles possèdent toute l'électronique nécessaires au fonctionnement du microcontrôleur.
- Leurs formes physiques sont un standard, du coup de nombreux accessoires existent pour eux.
- La programmation est la même quel que soit le microcontrôleur.

Le transceiver radio

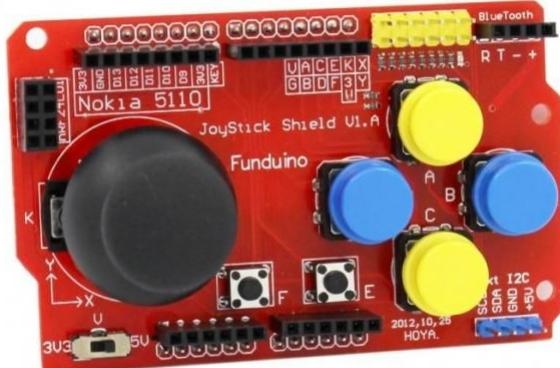


C'est un modèle nRF24L01 amplifié. Il permet l'émission et la réception **radio** de données informatiques.

Il utilise un bus **série synchrone** appelé **SPI** pour se connecter à nos Arduinos.

L'antenne se connecte sur le connecteur doré (nommé SMA).

La carte manette (Joypad)



Cette carte est faite pour s'adapter directement sur plein de types d'Arduino, notamment sur notre Arduino UNO pour notre télécommande.

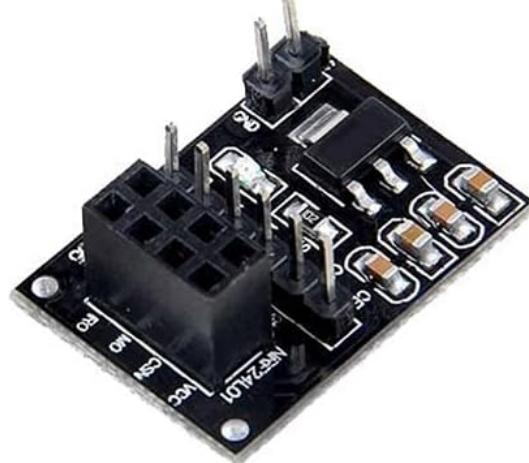
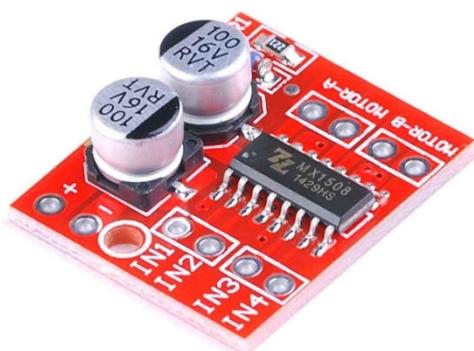
Ces cartes qui se branchent directement en « sandwich » sur des Arduino s'appellent des « Shields Arduino » (bouclier Arduino en français).

Ce Shield possède :

- 6 boutons poussoirs (Pin digitale de l'Arduino Uno 2 à 8, D2-D8)
- 1 joystick fait de 2 potentiomètres (Pin analogiques A0 et A1)
- 1 connecteur pour notre transceiver nRF24L01

Les petites cartes

Pont en H pour moteur.



Le pont dit « en H » est un composant qui intègre l'électronique de commande pour le pilotage d'un **moteur** à courant continu.

Il permet deux choses :

- Passer de la partie commande faible puissance à la partie moteur, forte puissance.
- Faire changer le sens de rotation du moteur.

Ce petit module permet de brancher facilement le transceiver nRF24L01 et de lui produire du 3,3V à partir du 5V de l'Arduino.

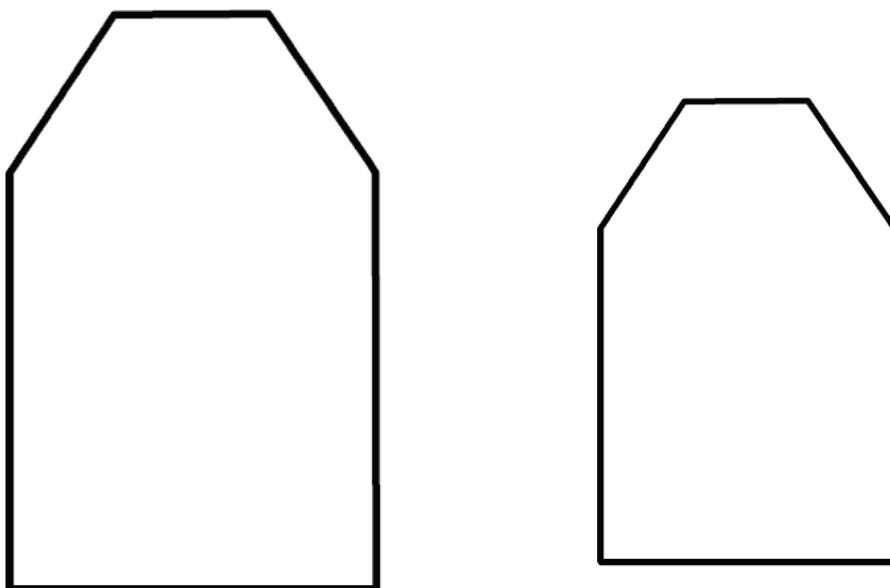
III. Les différentes conceptions

1. Conception de la coque, roues à aubes

Matériel nécessaire : planche de polystyrène, pistolet à colle, colle spéciale papier peint (Cléocol de Cléopâtre), pinceau, papier Kraft gommé blanc, carton (type calendrier), ciseaux, cutter, Dremel avec embout perceuse, baguettes (pour les rames), règle.

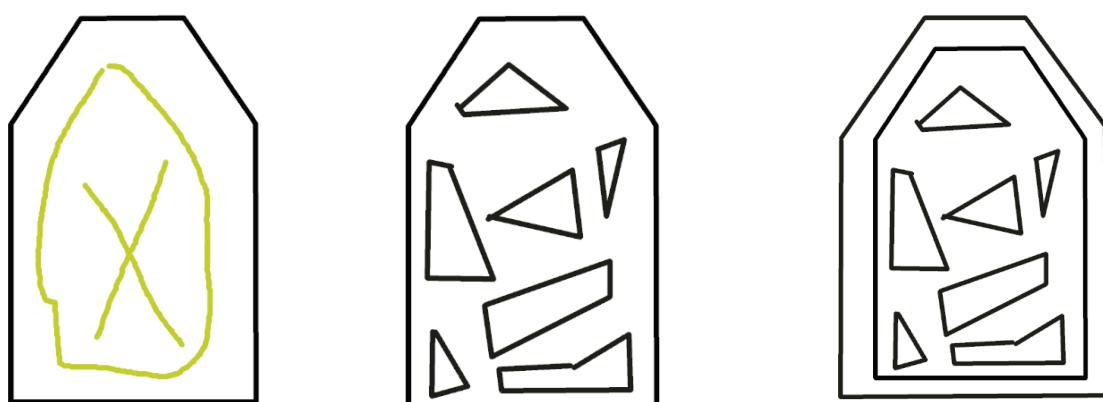
- Commencez par découper une base en polystyrène, puis une sous-base de dimension réduite.

Pour les dimensions, c'est selon votre choix, mais étant donné la taille des moteurs, comptez environ 20 cm de hauteur et 15 cm de largeur pour le patron le plus grand, et 15 cm à 10 cm pour le plus petit. La forme est également au choix. Conservez les chutes de polystyrène pour la suite.

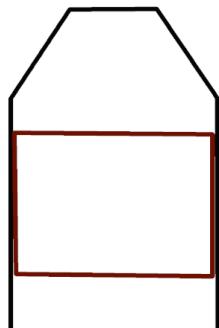


- Utilisez un pistolet à colle pour assembler les deux plaques.

Laissez chauffer le pistolet à colle, puis appliquez de la colle sur la sous-base comme indiqué dans le schéma ci-dessous (schéma à gauche, colle en jaune). Ensuite, fixez la sous-base sur la base. Pressez fermement les deux plaques ensemble pendant 30 secondes. Sur la face inférieure de la sous-base, collez également les chutes de polystyrène de la même manière (schéma au milieu). Essayez de les répartir uniformément sur la surface. La vue de dessous de votre bateau devrait ressembler au schéma à droite.



- Utilisez le cutter et le réglet pour découper un carré de carton aux dimensions 10*10 cm. Ensuite, collez ce carré en carton sur la base supérieure en polystyrène du bateau à l'aide du pistolet à colle, comme illustré dans le schéma.

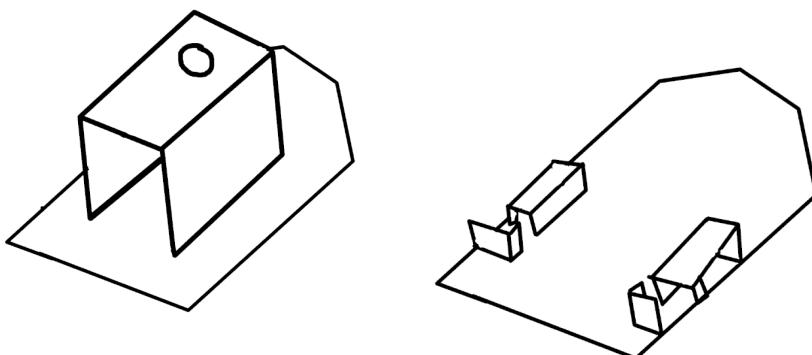


- Fabriquez un abri pour le moteur et l'électronique.

Commencez par découper les structures de l'abri central et des abris moteurs.

Les dimensions sont à adapter en fonction de votre base. Pour la boîte (dessin de gauche), un abri central carré de 6 cm * 6 cm est le minimum pour accueillir le matériel électronique. Vous aurez donc besoin de 2 découpes de carré de 6*6 cm pour les côtés, 1 découpe de 6.2 cm * 6 cm (0.1 mm représente l'épaisseur du carton - un de chaque côté, à adapter en fonction de votre carton), et 1 découpe de 6.2*6.1 cm pour le toit. Réalisez un trou assez large (1 cm de diamètre) pour laisser passer l'antenne du transceiver sur le carré du toit.

Pour l'abri moteur (dessin de droite), une hauteur de 3 cm, une largeur de 2.5 cm et une longueur de 6 cm semblent adaptées (cependant, il est préférable de mesurer directement le moteur et d'ajouter 1 cm pour la longueur et 0.5 cm pour la largeur et la hauteur). Vous aurez besoin de 2 découpes de 6 cm * 3 cm (grands côtés intérieurs), 4 découpes de 2.5 cm * 3 cm (avant et arrière), 2 découpes de 1 cm * 3 cm (petits côtés intérieurs), 2 découpes de 2 cm * 3 cm (côtés extérieurs), et enfin 2 découpes de 6.1 cm * 2.6 cm pour les toits.



longueur de la zone à coller (un

Pré-pliez le morceau de Kraft de manière à ce que la partie collante du papier se trouve face au carton à coller. Appliquez ensuite de la colle Cléocol en quantité raisonnable sur la partie collante, puis appuyez sur les deux cartons. Maintenez une légère pression pendant 3 secondes.

- Fabriquez les roues à aubes

Collez l'ensemble.

Pour coller deux cartons entre eux, vous aurez besoin de 2 morceaux de papier Kraft gommé de la devant et un derrière).

Utilisez un Dremel pour percer quatre trous (deux parallèles de chaque côté) dans les roues. Insérez les baguettes des rames dans les trous et ajoutez une pointe de colle chaude à chaque extrémité intérieure des roues. Fixez ensuite les roues sur l'axe du moteur en veillant à ce que les fils soient positionnés vers l'intérieur du bateau. Collez les moteurs sur la base en polystyrène du bateau.

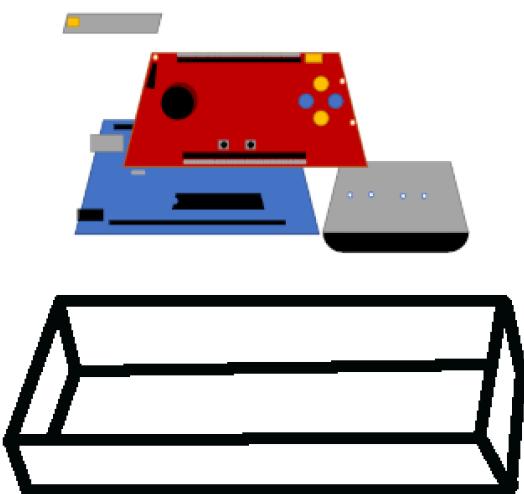
- Assemblez le tout

Faites passer l'antenne du transceiver à travers le trou de l'abri. Ajoutez un morceau de ruban adhésif pour maintenir le transceiver sous le toit en carton. Ensuite, ajoutez un morceau de ruban adhésif à l'arrière de l'abri pour maintenir l'électronique en place si nécessaire.

[EDIT] Afin d'éviter que le matériel ne soit inondé lors de la marche arrière, préférez une coque symétrique avant-arrière, et placez les moteurs au milieu.

2. Conception de la protection de la télécommande

- Fabriquez une coque pour la télécommande.



Mesurez la longueur de l'Arduino Uno et ajoutez-y la longueur du coupleur de piles. Ajouter 10mm à votre résultat. Vous avez maintenant la longueur total du dessous de votre coque de télécommande.

Mesurez la largeur du shield joystick, ajoutez 5mm, vous avez maintenant la largeur du dessous de votre coque de télécommande. Vous pouvez procéder à la découpe.

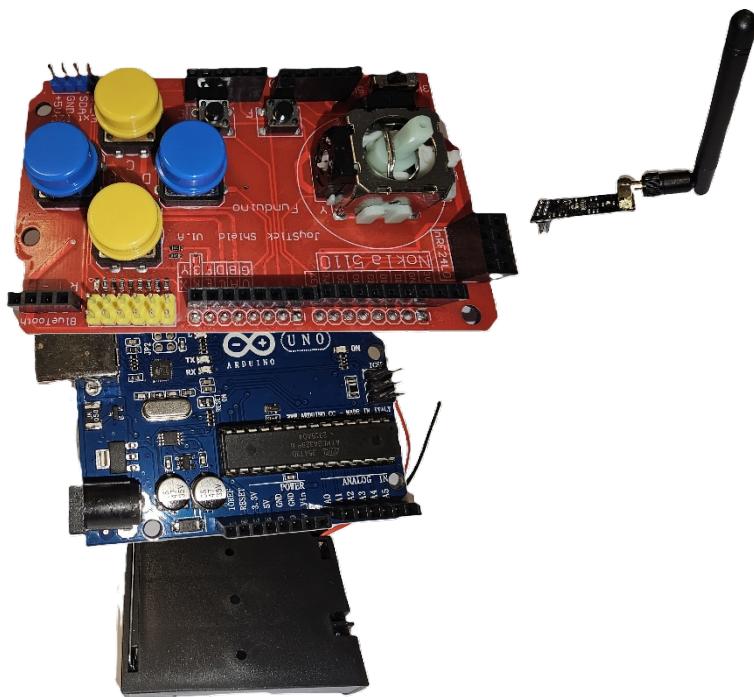
Mesurez la hauteur depuis le dessous de coque jusqu'au transceiver, vous avez maintenant la hauteur total de votre coque de télécommande. L'idée est que la coque soutienne le transceiver. Vous pouvez maintenant découper les 4 bords. Les deux cotés longs seront de la même longueur que le dessous de coque. Les deux cotés courts seront de la largeur de la coque moins 2 fois l'épaisseur du carton.

Vous pouvez maintenant coller le tout avec de la colle Cléocol et du papier Kraft gommé de la même façon que précédemment.

Conception de la télécommande

La conception de la télécommande est très simple et se fait en quatre étapes :

1. Empilez le coupleur de pile, puis l'Arduino Uno, ensuite le Shield joystick, et enfin le transceiver avec son antenne montée dessus.
2. Collez à la colle chaude le dos du coupleur de pile au dos de l'Arduino.
3. Soudez le fil positif (rouge) du coupleur de pile au DOS de la pin Vin de l'Arduino. Soudez le fil négatif (noir) du coupleur de pile au DOS d'une des pins GND de l'Arduino.
4. Programmez et flashez votre Arduino.



Conception de l'électronique du bateau

La propulsion du bateau sera assurée par deux moteurs à courant continu, placés de chaque côté du bateau. Voici comment cela fonctionnera :

- Pour faire avancer le bateau, les moteurs tourneront à la même vitesse dans le sens positif.
- Pour faire reculer le bateau, les moteurs tourneront à la même vitesse dans le sens négatif.
- Pour tourner le bateau, les moteurs tourneront à des vitesses différentes.

Pour cela, nous utiliserons deux techniques :

1. La modulation de largeur d'impulsion (**PWM** en anglais) pour faire varier la vitesse des moteurs.
2. Le **pont en H** pour changer le sens de rotation des moteurs.

Ces techniques permettront un contrôle précis et efficace de la propulsion du bateau dans différentes directions.

Le fonctionnement du **pont en H** est expliqué dans la partie [IV-2](#), quant à la **PWM** l'Arduino NANO dispose de 6 broches compatibles.

La PWM en quelques mots :

Définition : La Modulation de Largeur d'Impulsion (PWM) est une technique permettant de contrôler la puissance d'un signal électrique en variant la largeur de ses impulsions.

Fonctionnement :

Un signal PWM est composé d'une série d'impulsions carrées, avec une fréquence fixe et une largeur variable.

La largeur de chaque impulsion, exprimée en pourcentage du cycle, détermine la puissance moyenne fournie au circuit.

Plus la largeur d'impulsion est grande, plus la puissance fournie est importante.

Utilisations :

La PWM est utilisée dans de nombreux domaines, tels que :

- o Contrôle de la vitesse des moteurs (comme dans votre bateau télécommandé)
- o Variation de l'intensité lumineuse des LED
- o Commande de servomoteurs
- o Génération de sons

Avantages :

La PWM offre plusieurs avantages :

- o Précision et efficacité dans le contrôle de la puissance
- o Réduction de la consommation d'énergie
- o Simplicité de mise en œuvre

Inconvénients :

La PWM peut générer des bruits électriques parasites.

La fréquence de commutation peut limiter la résolution du contrôle de puissance.

Exemple :

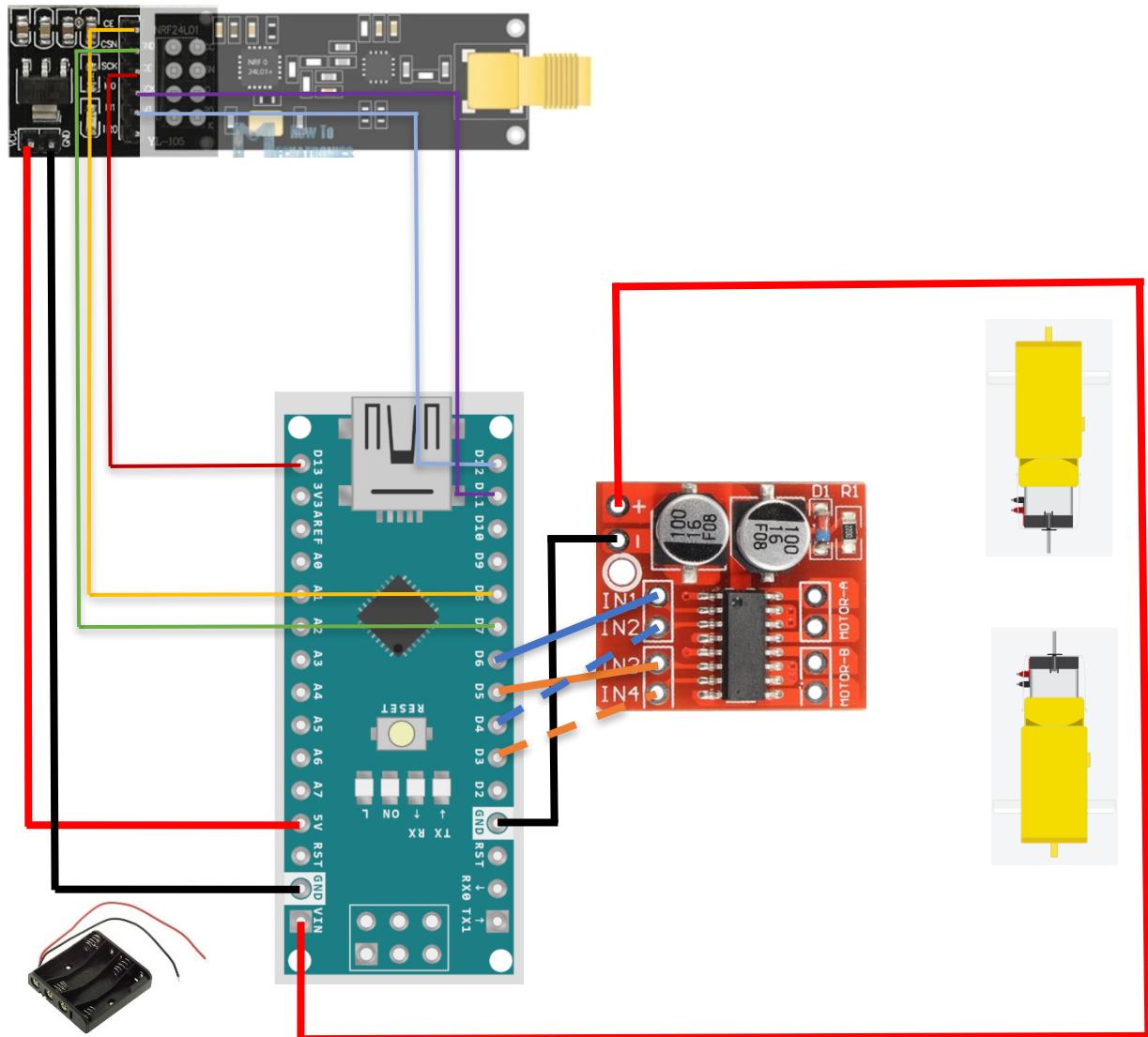
Imaginez un moteur alimenté par un signal PWM avec une fréquence de 1 kHz.

- Si la largeur d'impulsion est de 50%, le moteur reçoit en moyenne 50% de la puissance maximale.
- Si la largeur d'impulsion est de 25%, le moteur reçoit en moyenne 25% de la puissance maximale.

En résumé :

La PWM est une technique flexible et efficace pour contrôler la puissance d'un signal électrique. Elle est utilisée dans de nombreux domaines et offre de nombreux avantages.

La commande du pont en H, de la PWM, et des moteurs se fait par la réception des commandes radio émise par la télécommande. A cette fin, il faut donc câbler le transceiver CF [IV-I](#). Afin d'assurer une bonne alimentation électrique (stable et suffisamment puissante) ainsi qu'un assemblage simple nous utilisons le module régulateur 3,3V.



Les connexions de commandes du pont en H sont soudées directement entre lui-même et l'Arduino.
Les connexions au couple régulateur/nRF24L01 se font par des câbles Dupont femelles/femelles.

Les deux câbles du coupleur sont à souder directement au dos de l'Arduino.

La connexion des moteurs s'effectue par la soudure de headers DuPont femelles sur le pont en H.

L'alimentation du pont en H se fait selon votre choix.

Les fonctionnalités

Transceiver

Dans notre projet nous utiliserons des transceivers **nRF24L0** montés avec le module PA/LNA. Le montage reposera donc sur deux Arduinos distincts ayant leur propre module **nRF24L01**. Pour connecter un transceivers à un Arduino une liaison **SPI** sera utilisée.



Le bus SPI en quelques mots :

Définition : Le bus SPI (Serial Peripheral Interface) est un bus de communication série synchrone utilisé pour connecter des périphériques à un microcontrôleur.

Fonctionnement :

Le bus SPI utilise quatre broches :

- o MOSI (Master Out, Slave In) : pour envoyer des données du maître vers l'esclave
- o MISO (Master In, Slave Out) : pour recevoir des données de l'esclave vers le maître
- o SCK (Serial Clock) : pour synchroniser les transferts de données
- o SS (Slave Select) : sélectionne l'esclave avec lequel le maître souhaite communiquer

Le maître envoie un signal d'horloge sur la broche SCK.

Les données sont transmises sur les broches MOSI et MISO bit par bit.

Le maître sélectionne l'esclave avec la broche SS.

Utilisations :

Le bus SPI est utilisé pour connecter divers périphériques, tels que :

- o Ecrans LCD
- o Capteurs
- o Mémoires type carte SD

Avantages :

Le bus SPI est simple à mettre en œuvre et ne nécessite que peu de broches.

Il est flexible et peut être utilisé pour connecter une grande variété de périphériques.

Il est relativement rapide et peut atteindre des débits de données importants.

Inconvénients :

Le bus SPI ne peut connecter qu'un seul maître à plusieurs esclaves.

Il n'est pas aussi robuste que d'autres bus de communication, comme I2C.

En résumé :

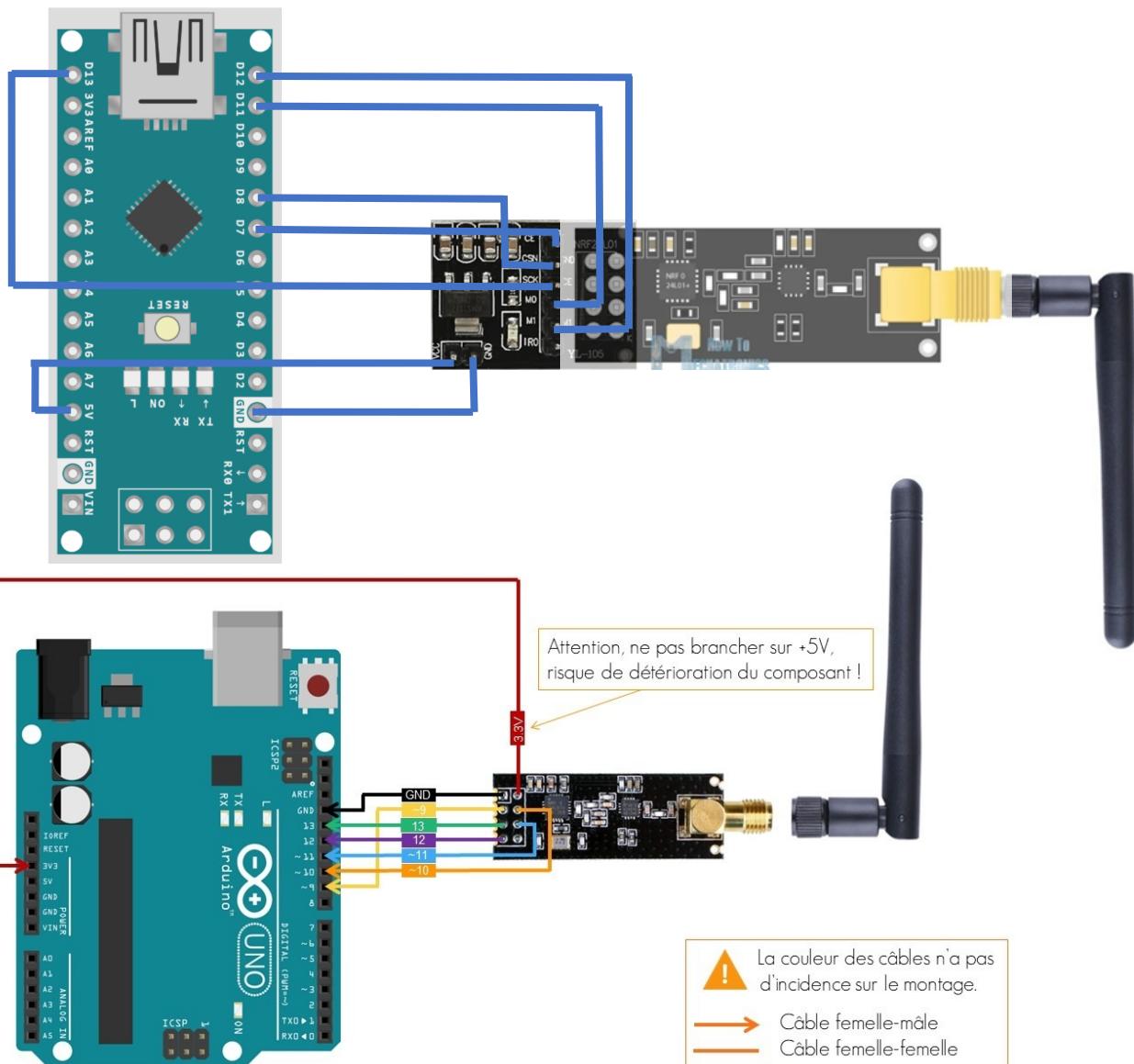
Le bus SPI est un bus de communication simple, flexible et efficace. Il est largement utilisé pour connecter des périphériques à un microcontrôleur.

En plus des 4 broches SPI (MISO, MOSI, SCK, SS) une 5eme connexion est nécessaire. C'est la connexion **CE** qui indique si le module radio est en émission ou en réception.

D'un point de vue logiciel il est donc nécessaire d'utiliser les bibliothèques **SPI** et **RF24**. SPI est déjà installer par Arduino IDE, RF24 est à installer en plus (cf. site officiel Arduino).

Pour les utiliser il suffit d'écrire dans nos sources :

```
#include <SPI.h>
#include <RF24.h>
```



- Afin de tester nos montages et de prendre en main la communication radio nous testerons l'exemple **GettingStarted** fournie avec la librairie RF24 et donc directement disponible dans le catalogue d'exemple de votre IDE Arduino.

Astuce : Changez les valeurs des PINs **CE** et **CSN** de l'exemple pour l'adapter à votre carte Arduino.

Astuce : Utilisez, si vous le désirez, le Shield joystick pour vous simplifier le câblage avec l'Arduino UNO.

- **Attention** toute erreur d'alimentation du transceiver, notamment en 5V le grillerait.

Pont en h, moteurs

Imaginez un pont en H comme un interrupteur intelligent pour les moteurs.

Il permet de contrôler la direction et la vitesse d'un moteur électrique en utilisant des transistors.

Fonctionnement :

Quatre transistors : deux pour chaque sens de rotation du moteur.

Interrupteurs : permettent d'activer ou de désactiver les transistors.

Signal de commande : détermine la direction et la vitesse du moteur.

Avantages du pont en H :

Contrôle précis du moteur : permet de faire tourner le moteur dans les deux sens et de varier sa vitesse (Si PWM).

Protection du moteur : évite les surintensités et les courts-circuits.

Simplicité d'utilisation : facile à mettre en œuvre avec des composants peu coûteux.

Inconvénients du pont en H :

Dissipation de chaleur : les transistors peuvent chauffer en cas de forte puissance.

Complexité accrue : nécessite une compréhension de l'électronique pour le concevoir et le programmer.

Applications du pont en H :

Robotique : contrôle des moteurs des robots.

Modélisme : commande des moteurs des avions, des voitures et des bateaux radiocommandés.

Domotique : contrôle des volets roulants, des stores et des portes automatiques.

Exemple concret :

Un pont en H peut être utilisé pour contrôler le moteur d'un robot.

Un signal de commande provenant d'un microcontrôleur détermine la direction et la vitesse du moteur.

Le pont en H active les transistors appropriés pour faire tourner le moteur dans le sens souhaité.

En résumé, le pont en H est un circuit électronique très utile pour contrôler les moteurs électriques.

Il est simple à utiliser et offre un contrôle précis du moteur.

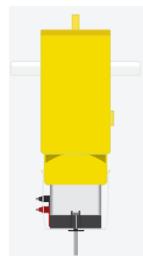
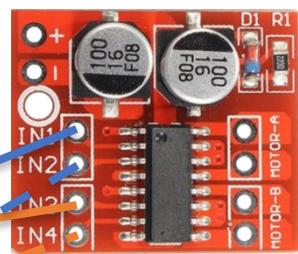
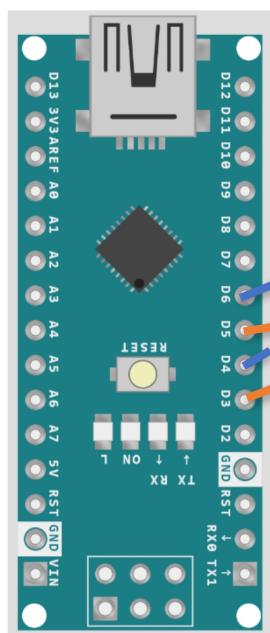
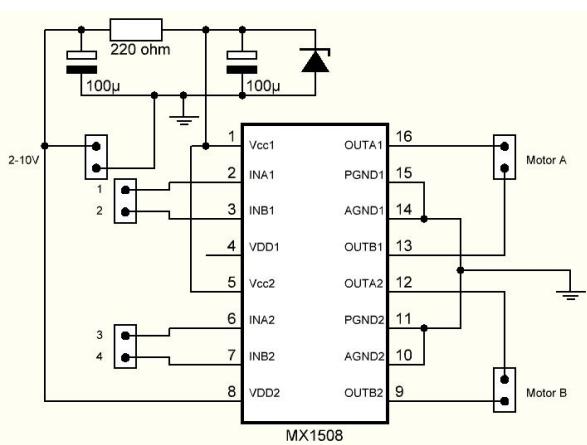
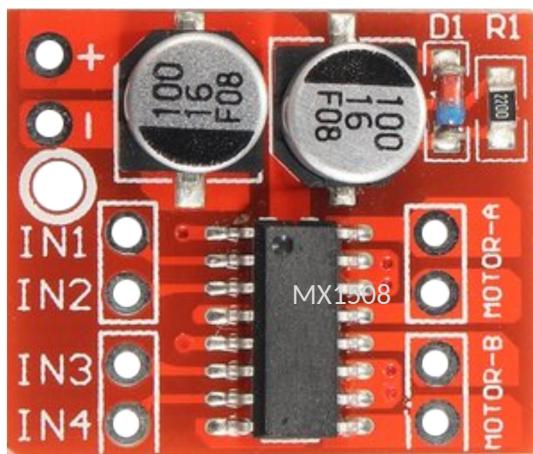
D'un point de vue logiciel aucune bibliothèque est nécessaire. Il suffit d'utiliser analogWrite avec les pins PWM et digitalWrite pour les autres (cf. site officiel Arduino).

Exemple d'utilisation dans nos sources :

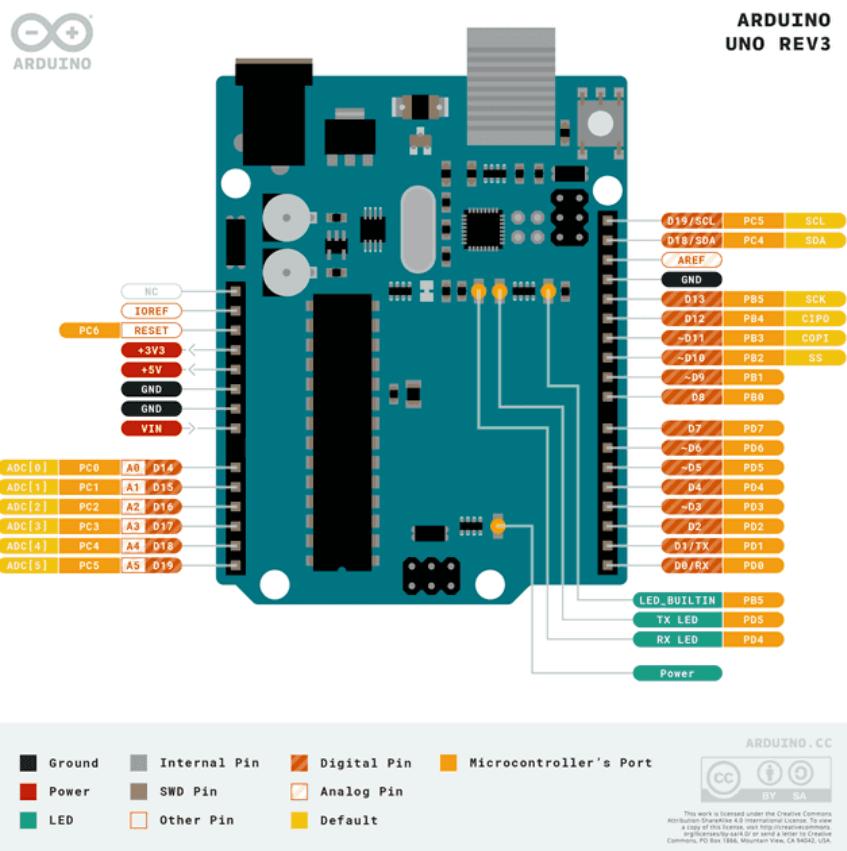
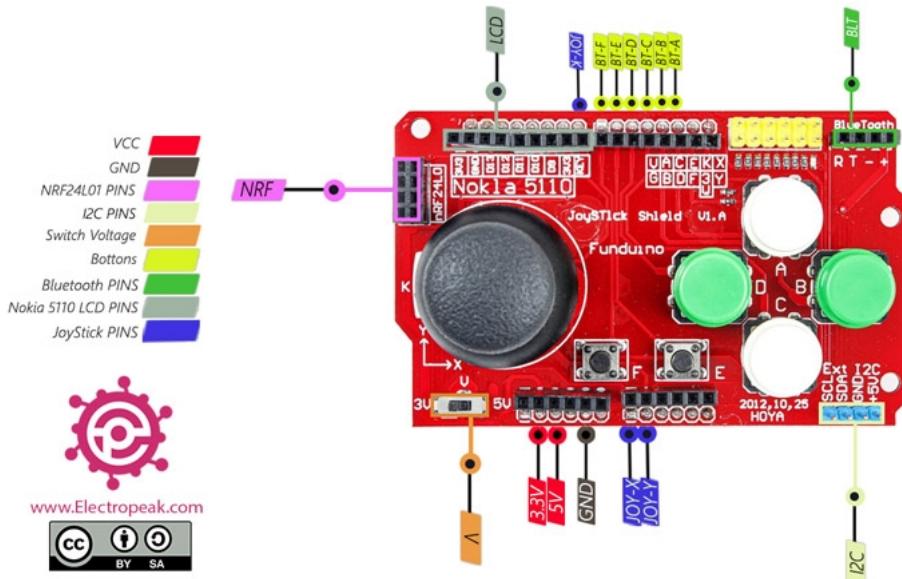
```
analogWrite( <N° de pin pwm>, <pourcentage rapport cyclique pwm> ) ; //remplacer entre chevrons  
digitalWrite( <N° de pin digital>, <bool> ) ; //remplacer entre chevrons
```

Attention, si un jour vous utilisez la bibliothèque Servo.h pour contrôler un servomoteur et que vous souhaitez également utiliser la PWM, il vous faudra être attentif au choix des broches (pins). Pour plus d'informations :

<https://forum.arduino.cc/t/attaching-servo-causes-pwm-problem/64535>



Joystick



Le logiciel

Le but

Le but est de réaliser deux logiciels : un pour le bateau et un autre pour la télécommande. Vous avez plusieurs options :

- Créer vous-même tout le logiciel.
- Créer les deux logiciels en utilisant les bibliothèques (recommandé).
- Utiliser tout le code existant.

Bien entendu, toutes les nuances de ces trois solutions sont acceptables. L'idée principale est d'attribuer différentes fonctions aux boutons de la télécommande pour commander le bateau et de le diriger avec le joystick. Voici la liste des fonctions envisagées :

- Calibration du joystick
- Demi-tour gauche sur place
- Demi-tour droit sur place
- Changer la puissance radio
- Redémarrage de la télécommande
- Redémarrage du bateau
- Joystick haut/bas pour avancer/reculer
- Joystick gauche/droite pour tourner à gauche/droite

Les librairies mises à votre disposition

Messages radio

Reboot

Joystick

Pont en H

Code

Lien vers codes : <https://github.com/Florent2305/AtelierElecAGOS/tree/dev>

Glossaire

Circuit imprimé : Un circuit imprimé, aussi appelé **PCB** (de l'anglais Printed Circuit Board), est un support, généralement une plaque, permettant de maintenir et de relier électriquement un ensemble de composants électroniques entre eux, dans le but de réaliser un circuit électronique complexe. On le désigne aussi par le terme de carte électronique.

Circuit intégré : Un circuit intégré (CI), aussi appelé **puce électronique**, est un composant électronique miniaturisé regroupant des **millions de transistors** et d'autres composants électroniques sur une petite plaque de matériau semi-conducteur, comme le silicium. Cette miniaturisation permet de réaliser des circuits électroniques complexes de manière fiable et économique.

Microprocesseur : Un microprocesseur est un **circuit intégré** qui regroupe tous les éléments nécessaires pour exécuter les instructions d'un **programme informatique**. Il est considéré comme le "**cerveau**" de l'ordinateur, car il est responsable de la gestion et du traitement des informations.

Microcontrôleur : Le microcontrôleur est une puce (CI) qui intègre directement un microprocesseur, de la mémoire de travail (mémoire vive, RAM), de la mémoire de programme (EPROM), ainsi que des périphériques tels que des broches d'entrée/sortie (I/O), des convertisseurs analogique-numérique (ADC), des modules de modulation de largeur d'impulsion (PWM), et des ports séries (comme SPI, I²C, OneWire), entre autres.

Régulateur de tension linéaire : Un régulateur de tension linéaire est un circuit électronique qui maintient une tension de sortie constante, indépendamment des variations de la tension d'entrée ou du courant de charge. Il fonctionne en **dissipant l'excès de tension** sous forme de chaleur, ce qui en fait un dispositif simple et économique pour réguler les tensions.

Coupleur de piles : Un coupleur de piles est un petit appareil qui permet de connecter plusieurs piles ensemble afin d'obtenir une tension ou une capacité plus importante. Il existe différents types de coupleurs de piles adaptés à différents formats de piles et à différents besoins.

Liaison série : Une liaison série est un mode de communication entre deux appareils qui achemine les données bit par bit sur un seul canal de communication. Contrairement à une liaison parallèle où les bits d'un octet sont transmis simultanément sur plusieurs fils, la liaison série envoie les bits l'un à la suite de l'autre, ce qui nécessite moins de conducteurs.

Liaison parallèle : Une liaison parallèle est un mode de communication entre deux appareils qui achemine les données simultanément sur plusieurs canaux de communication. Contrairement à une liaison série où les bits d'un octet sont envoyés un à la suite de l'autre, la liaison parallèle envoie les bits en même temps, ce qui permet d'atteindre des vitesses de transmission plus élevées.

Moteur à courant continu : Le moteur à courant continu fonctionne avec une tension continue appliquée à ses deux bornes. Sa **vitesse de rotation** est directement **proportionnelle à la tension** qui lui est appliquée. Le **sens de rotation** dépend de la **polarité de la tension**. Il diffère d'autres types de moteurs tels que les moteurs alternatifs, les moteurs pas à pas, les servomoteurs, etc.

Transceiver : Un transceiver, ou émetteur-récepteur en français, est un dispositif électronique capable à la fois de transmettre et de recevoir des signaux. Les anglophones utilisent le terme "transceiver", une contraction de "TRANSMITTER" (émetteur) et de "reCEIVER" (récepteur). Ce terme est parfois francisé en "transcepteur".

PA LNA : Power Amplifier, Low Noise Amplifier. En français, cela peut se traduire par "amplificateur de puissance à faible bruit". Que signifie "à faible bruit" dans ce contexte ? Tout simplement, cela fait référence au fait que lorsqu'un signal est amplifié, il est souvent sujet à de petites déformations ou à des parasites. Un amplificateur qualifié de "faible bruit" va grandement limiter ces effets indésirables, ce qui signifie qu'il ajoute très peu de bruit au signal d'entrée pendant l'amplification, assurant ainsi une meilleure fidélité du signal amplifié par rapport au signal original.

Lecture de composants

Voici un tableau des séries pour la valeur des composants (Résistances, Condensateurs, Bobines)

E24	E48	E96	-	E24	E48	E96	-	E24	E48	E96	-	E24	E48	E96	E1	E3	E6	E12
100	100	100		180	178	178		330	316	316		560	562	562	100	100	100	100
	102	102			182	182			324	324			576	576		120	120	
	105	105			187	187			332	332			590	590		150	150	
	107	107			191	191			340	340			604	604		180	180	
110	110	110		200	196	196		360	348	348		620	619	619	220	220	220	220
	113	113			200	200			357	357			634	634		270	270	
	115	115			205	205			365	365			649	649		330	330	
	118	118			210	210			374	374			665	665		390	390	
120	121	121		220	215	215		390	383	383		680	681	681	470	470	470	470
	124	124			221	221			392	392			698	698		560	560	
	127	127			226	226			402	402			715	715		680	680	
	130	130			232	232			412	412			732	732		820	820	
130	133	133		240	237	237		430	422	422		750	750	750	750	768	768	
	137	137			243	243			432	432			787	787		806	806	
	140	140			249	249			442	442			825	825		866	866	
	143	143			255	255			453	453			887	887				
150	147	147		270	261	261		470	464	464		820	825	825	820	845	845	
	150	150			267	267			475	475			866	866				
	154	154			274	274			487	487			887	887				
	158	158			280	280			499	499								
160	162	162		300	287	287		510	511	511		910	909	909	910	931	931	
	165	165			294	294			523	523			953	953		976	976	
	169	169			301	301			536	536			976	976				
	174	174			309	309			549	549								

Code des couleurs 5 anneaux.

1ère Bande	2ème Bande	3ème Bande	Multiplicateur	Tolérance
Black 0	0	0	x 1	± 1%
Brown 1	1	1	x 10	± 2%
Red 2	2	2	x 100	± 2%
Orange 3	3	3	x 1k	± 0.5%
Yellow 4	4	4	x 10k	± 0.25%
Green 5	5	5	x 100k	± 0.10%
Blue 6	6	6	x 1M	± 0.05%
Violet 7	7	7	x 10M	± 0.01%
Gray 8	8	8	x 100M	
White 9	9	9	x 1G	
Gold			x 0.1	± 5%
Silver			x 0.01	± 10%

Code des couleurs 6 anneaux.

1ère Bande	2ème Bande	3ème Bande	4ème Bande	Multiplicateur	Tolérance
Black 0	0	0	0	x 1	± 1%
Brown 1	1	1	1	x 10	± 2%
Red 2	2	2	2	x 100	± 2%
Orange 3	3	3	3	x 1k	± 0.5%
Yellow 4	4	4	4	x 10k	± 0.25%
Green 5	5	5	5	x 100k	± 0.10%
Blue 6	6	6	6	x 1M	± 0.05%
Violet 7	7	7	7	x 10M	± 0.01%
Gray 8	8	8	8	x 100M	± 0.005%
White 9	9	9	9	x 1G	± 0.001%
Gold				x 0.1	± 5%
Silver				x 0.01	± 10%

- Rappel de physiques utiles

-

$$U = RI$$

Donc

$$I = U/R$$

$$R = U/I$$

$$P = UI$$

Donc

$$I = P/U$$

$$U = P/I$$

$$P = U^2/R$$

$$P = I^2 R$$