

Le grand livre de ESP32forth

version 1.2 octobre 2023



Auteur(s)

- Marc PETREMANN petremann@arduino-forth.com

Collaborateur(s)

- XXX

Table des matières

Auteur(s).....	1
Collaborateur(s).....	1
Introduction.....	5
Aide à la traduction.....	5
Découverte de la carte ESP32.....	6
Présentation.....	6
Les points forts.....	6
Les entrées/sorties GPIO sur ESP32.....	7
Périphériques de l'ESP32.....	8
Pourquoi programmer en langage FORTH sur ESP32?.....	10
Préambule.....	10
Limites entre langage et application.....	10
C'est quoi un mot FORTH?.....	11
Un mot c'est une fonction?.....	11
Le langage FORTH comparé au langage C.....	12
Ce que FORTH permet de faire par rapport au langage C.....	13
Mais pourquoi une pile plutôt que des variables?.....	14
Etes-vous convaincus?.....	14
Existe-t-il des applications professionnelles écrites en FORTH?.....	15
Un vrai FORTH 32 bits avec ESP32Forth.....	17
Les valeurs sur la pile de données.....	17
Les valeurs en mémoire.....	17
Traitement par mots selon taille ou type des données.....	18
Conclusion.....	19
Dictionnaire / Pile / Variables / Constantes.....	21
Étendre le dictionnaire.....	21
Gestion du dictionnaire.....	21
Piles et notation polonaise inversée.....	22
Manipulation de la pile de paramètres.....	23
La pile de retour et ses utilisations.....	23
Utilisation de la mémoire.....	24
Variables.....	24
Constantes.....	25
Valeurs pseudo-constantes.....	25
Outils de base pour l'allocation de mémoire.....	25
Couleurs de texte et position de l'affichage sur terminal.....	27
Codage ANSI des terminaux.....	27
Coloration du texte.....	28
Position de l'affichage.....	29
Les variables locales avec ESP32Forth.....	31
Introduction.....	31
Le faux commentaire de pile.....	31

Action sur les variables locales.....	32
Structures de données pour ESP32forth.....	35
Préambule.....	35
Les tableaux en FORTH.....	35
Tableau de données 32 bits à une dimension.....	35
Mots de définition de tableaux.....	36
Lire et écrire dans un tableau.....	36
Exemple pratique de gestion d'un écran virtuel.....	37
Gestion de structures complexes.....	40
Définition de sprites.....	42
Les vocabulaires avec ESP32forth.....	45
Liste des vocabulaires.....	45
Les vocabulaires essentiels.....	46
Liste du contenu d'un vocabulaire.....	46
Utilisation des mots d'un vocabulaire.....	46
Chainage des vocabulaires.....	47
Adapter les plaques d'essai à la carte ESP32.....	49
Les plaques d'essai pour ESP32.....	49
Construire une plaque d'essai adaptée à la carte ESP32.....	49
Alimenter la carte ESP32.....	51
Choix de la source d'alimentation.....	51
Alimentation par le connecteur mini-USB.....	51
Alimentation par le pin 5V.....	51
Démarrage automatique d'un programme.....	53
Installer et utiliser le terminal Tera Term sous Windows.....	55
Installer Tera Term.....	55
Paramétrage de Tera Term.....	55
Utilisation de Tera Term.....	58
Compiler du code source en langage Forth.....	59
Gestion des fichiers sources par blocs.....	60
Les blocs.....	60
Ouvrir un fichier de blocs.....	60
Editer le contenu d'un bloc.....	61
Compilation du contenu des blocs.....	62
Exemple pratique pas à pas.....	62
Conclusion.....	63
Edition des fichiers sources avec VISUAL Editor.....	64
Editer un fichier source FORTH.....	64
Edition du code FORTH.....	64
Compilation du contenu des fichiers.....	65
Le système de fichiers SPIFFS.....	66
Accès au système de fichiers SPIFFS.....	66
Manipulation des fichiers.....	67
Organiser et compiler ses fichiers sur la carte ESP32.....	68
Edition et transmission des fichiers source.....	68

Organiser ses fichiers.....	69
Transférer un gros fichier vers ESP32forth.....	70
Conclusion.....	70
Gérer un feu tricolore avec ESP32.....	72
Les ports GPIO sur la carte ESP32.....	72
Montage des LEDs.....	73
Gestion des feux tricolores.....	74
Conclusion.....	75
Utilisation de l'encodeur rotatif KY-040.....	76
Présentation de l'encodeur.....	76
Montage de l'encodeur sur la plaque d'essai.....	77
Analyse des signaux de l'encodeur.....	78
Programmation de l'encodeur.....	79
Test de l'encodage.....	80
Incrémenter et décrémenter une variable avec l'encodeur.....	80
L'interface I2C sur ESP32.....	83
Introduction.....	83
Échange maître esclave.....	84
Adressage.....	85
Définition des ports GPIO pour I2C.....	86
Protocoles du bus I2C.....	86
Détection d'un périphérique I2C.....	86
Ressources.....	88
En anglais.....	88
En français.....	88
GitHub.....	88

Introduction

Je gère depuis 2019 plusieurs sites web consacrés aux développements en langage FORTH pour les cartes ARDUINO et ESP32, ainsi que la version eForth web :

- ARDUINO : <https://arduino-forth.com/>
- ESP32 : <https://esp32.arduino-forth.com/>
- eForth web : <https://eforth.arduino-forth.com/>

Ces sites sont disponibles en deux langues, français et anglais. Chaque année je paie l'hébergement du site principal **arduino-forth.com**.

Il arrivera tôt ou tard – et le plus tard possible – que je ne sois plus en mesure d'assurer la pérennité de ces sites. La conséquence sera que les informations diffusées par ces sites disparaissent.

Ce livre est la compilation du contenu de mes sites web. Il est diffusé librement depuis un dépôt Github. Cette méthode de diffusion permettra une plus grande pérennité que des sites web.

Accessoirement, si certains lecteurs de ces pages souhaitent apporter leur contribution, ils sont bienvenus :

- pour proposer des chapitres ;
- pour signaler des erreurs ou suggérer des modifications ;
- pour aider à la traduction...

Aide à la traduction

Google Translate permet de traduire des textes facilement, mais avec des erreurs. Je demande donc de l'aide pour corriger les traductions.

En pratique, je fournis, les chapitres déjà traduits, dans le format LibreOffice. Si vous voulez apporter votre aide à ces traductions, votre rôle consistera simplement à corriger et renvoyer ces traductions.

La correction d'un chapitre demande peu de temps, de une à quelques heures.

Pour me contacter : petremann@arduino-forth.com

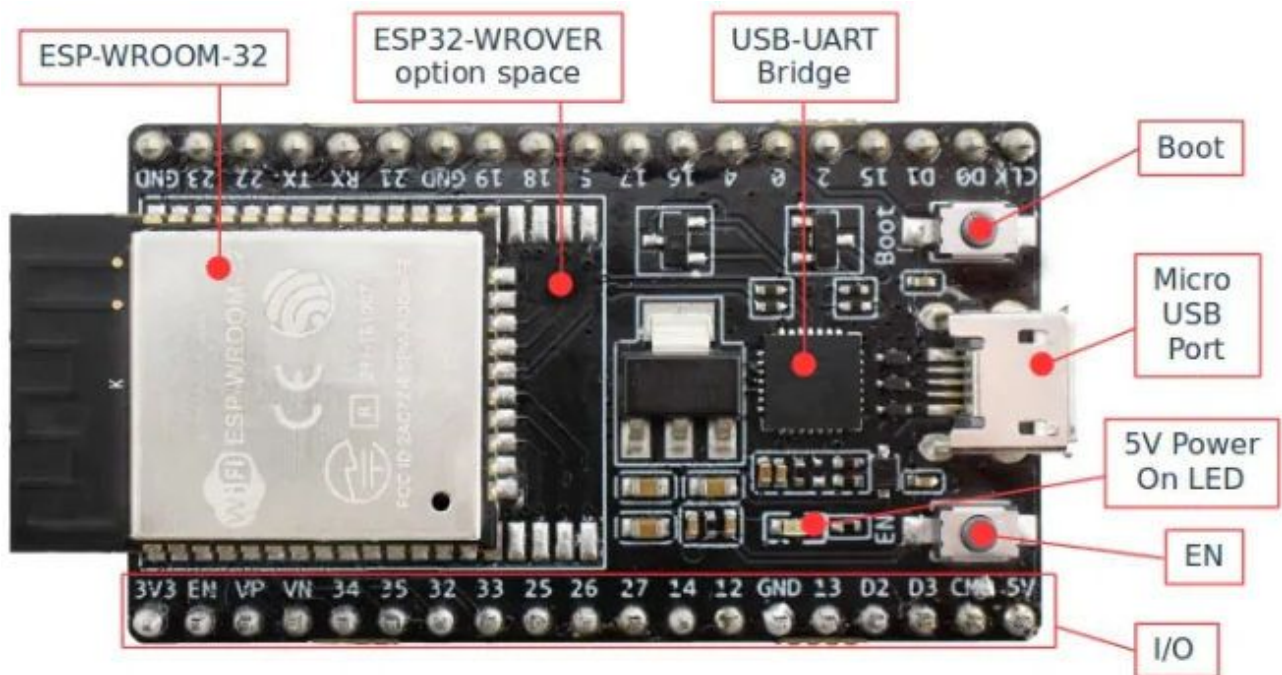
Découverte de la carte ESP32

Présentation

La carte ESP32 n'est pas une carte ARDUINO. Cependant, les outils de développement exploitent certains éléments de l'éco-système ARDUINO, comme l'IDE ARDUINO.

Les points forts

Coté nombre de ports disponibles, la carte ESP32 se situe entre un ARDUINO NANO et



ARDUINO UNO. Le modèle de base a 38 connecteurs:

Les périphériques ESP32 incluent :

- 18 canaux du convertisseur analogique-numérique (ADC)
- 3 interfaces SPI
- 3 interfaces UART
- 2 interfaces I2C
- 16 canaux de sortie PWM
- 2 convertisseurs numérique-analogique (DAC)
- 2 interfaces I2S

- 10 GPIO à détection capacitive

L'ADC (convertisseur analogique-numérique) et le DAC (convertisseur numérique-analogique) les fonctionnalités sont attribuées à des broches statiques spécifiques. Cependant, vous pouvez décider quel les broches sont UART, I2C, SPI, PWM, etc. Il vous suffit de les attribuer dans le code. Ceci est possible grâce à la fonction de multiplexage de la puce ESP32.

La plupart des connecteurs ont plusieurs utilisations.

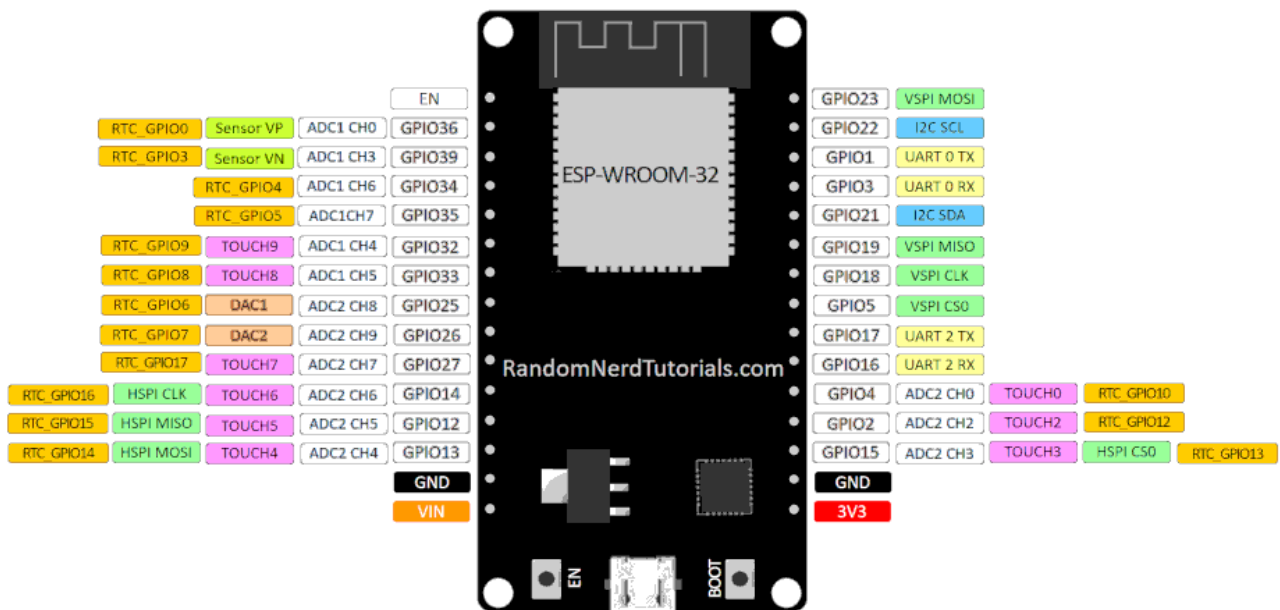
Mais ce qui distingue la carte ESP32, c'est qu'elle est équipée en série d'un support WiFi et Bluetooth, ce que ne proposent les cartes ARDUINO que sous forme d'extensions.

Les entrées/sorties GPIO sur ESP32

Voici, en photo, la carte ESP32 à partir de laquelle nous allons expliquer le rôle des différentes entrées/sorties GPIO:



La position et le nombre des E/S GPIO peut changer en fonction des marques de cartes. Si c'est le cas, seules les indications figurant sur la carte physique font foi. Sur la photo, rangée du bas, de gauche à droite: CLK, SD0, SD1, G15, G2, G0, G4, G16.....G22, G23, GND.



Sur ce schéma, on voit que la rangée basse commence par 3V3 alors que sur la photo, cette E/S est à la fin de la rangée supérieure. Il est donc très important de ne pas se fier au schéma et de contrôler plutôt deux fois le bon branchement des périphériques et composants sur la carte ESP32 physique.

Les cartes de développement basées sur un ESP32 possèdent en général 33 broches hormis celles pour l'alimentation. Certains pins GPIO ont des fonctionnements un peu particuliers:

GPIO	Noms possibles
6	SCK/CLK
7	SCK/CLK
8	SDO/SD0
9	SDI/SD1
10	SHD/SD2
11	CSC/CMD

La borne EN permet de contrôler l'état d'allumage de l'ESP32 via un fil extérieur. Il est relié au bouton EN de la carte. Lorsque l'ESP32 est allumé, il est à 3.3V. Si on relie ce pin à la masse, l'ESP32 est éteint. On peut l'utiliser lorsque l'ESP32 est dans un boîtier et que l'on veut pouvoir l'allumer/l'éteindre avec un interrupteur.

Périphériques de l'ESP32

Pour interagir avec les modules, capteurs ou circuits électroniques, l'ESP32 comme tout micro-contrôleur possède une multitude de périphériques. Ils sont plus nombreux que sur

une carte Arduino classique.

ESP32 dispose les périphériques suivants:

- 3 interfaces UART
- 2 interfaces I2C
- 3 interfaces SPI
- 16 sorties PWM
- 10 capteurs capacitifs
- 18 entrées analogiques (ADC)
- 2 sorties DAC

Certains périphériques sont déjà utilisés par ESP32 lors de son fonctionnement basique. Il y a donc moins d'interfaces possibles pour chaque périphérique.

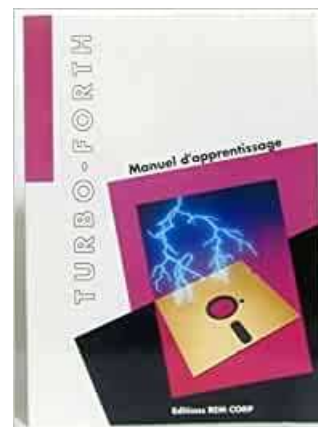
Pourquoi programmer en langage FORTH sur ESP32?

Préambule

Je programme en langage FORTH depuis 1983. J'ai cessé de programmer en FORTH en 1996. Mais je n'ai jamais cessé de surveiller l'évolution de ce langage. J'ai repris la programmation en 2019 sur ARDUINO avec FlashForth puis ESP32forth.

Je suis co-auteur de plusieurs livres concernant le langage FORTH:

- Introduction au ZX-FORTH (ed Eyrolles - 1984 - ASIN:B0014IGOXO)
- Tours de FORTH (ed Eyrolles - 1985 - ISBN-13: 978-2212082258)
- FORTH pour CP/M et MSDOS (ed Loisetech - 1986)
- TURBO-Forth, manuel d'apprentissage (ed Rem CORP - 1990)
- TURBO-Forth, guide de référence (ed Rem CORP - 1991)



La programmation en langage FORTH a toujours été un loisir jusqu'en 1992 où le responsable d'une société travaillant en sous-traitance pour l'industrie automobile me contacte. Ils avaient un souci de développement logiciel en langage C. Il leur fallait commander un automate industriel.

Les deux concepteurs logiciels de cette société programmaient en langage C: TURBO-C de Borland pour être précis. Et leur code n'arrivait pas à être suffisamment compact et rapide pour tenir dans les 64 Kilo-octets de mémoire RAM. On était en 1992 et les extensions de type mémoire flash n'existaient pas. Dans ces 64 Ko de mémoire vive, il fallait faire tenir MS-DOS 3.0 et l'application!

Cela faisait un mois que les développeurs en langage C tournaient le problème dans tous les sens, jusqu'à réaliser du reverse engineering avec SOURCER (un désassembleur) pour éliminer les parties de code exécutable non indispensables.

J'ai analysé le problème qui m'a été exposé. En partant de zéro, j'ai réalisé, seul, en une semaine, un prototype parfaitement opérationnel qui tenait le cahier des charges. Pendant trois années, de 1992 à 1995, j'ai réalisé de nombreuses versions de cette application qui a été utilisée sur les chaînes de montage de plusieurs constructeurs automobiles.

Limites entre langage et application

Tous les langages de programmation sont partagés ainsi:

- un interpréteur et le code source exécutable: BASIC, PHP, MySQL, JavaScript, etc... L'application est contenue dans un ou plusieurs fichiers qui sera interprété chaque fois que c'est nécessaire. Le système doit héberger de manière permanente l'interpréteur exécutant le code source;
- un compilateur et/ou assembleur: C, Java, etc... Certains compilateurs génèrent un code natif, c'est à dire exécutable spécifiquement sur un système. D'autres, comme Java, compilent un code exécutable sur une machine Java virtuelle.

Le langage FORTH fait exception. Il intègre:

un interpréteur capable d'exécuter n'importe quel mot du langage FORTH

un compilateur capable d'étendre le dictionnaire des mots FORTH

C'est quoi un mot FORTH?

Un mot FORTH désigne toute expression du dictionnaire composée de caractères ASCII et utilisable en interprétation et/ou en compilation: words permet de lister tous les mots du dictionnaire FORTH.

Certains mots FORTH ne sont utilisables qu'en compilation: **if else then** par exemple.

Avec le langage FORTH, le principe essentiel est qu'on ne crée pas une application. En FORTH, on étend le dictionnaire! Chaque mot nouveau que vous définissez fera autant partie du dictionnaire FORTH que tous les mots pré-définis au démarrage de FORTH.

Exemple:

```
: typeToLoRa ( -- )
  0 echo !      \ disable display echo from terminal
  ['] serial2-type is type
;
: typeToTerm ( -- )
  ['] default-type is type
  -1 echo !    \ enable display echo from terminal
;
```

On crée deux nouveaux mots: **typeToLoRa** et **typeToTerm** qui vont compléter le dictionnaire des mots pré-définis.

Un mot c'est une fonction?

Oui et non. En fait, un mot peut être une constante, une variable, une fonction... Ici, dans notre exemple, la séquence suivante:

```
: typeToLoRa ...code... ;
```

aurait son équivalent en langage C:

```
void typeToLoRa() { ...code... }
```

En langage FORTH, il n'y a pas de limite entre le langage et l'application.

En FORTH, comme en langage C, on peut utiliser n'importe quel mot déjà défini dans la définition d'un nouveau mot.

Oui, mais alors pourquoi FORTH plutôt que C?

Je m'attendais à cette question.

En langage C, on ne peut accéder à une fonction qu'au travers de la principale fonction **main()**. Si cette fonction intègre plusieurs fonctions annexes, il devient difficile de retrouver une erreur de paramètre en cas de mauvais fonctionnement du programme.

Au contraire, avec FORTH, il est possible d'exécuter - via l'interpréteur - n'importe quel mot pré-défini ou défini par vous, sans avoir à passer par le mot principal du programme.

L'interpréteur FORTH est immédiatement accessible sur la carte ESP32 via un programme de type terminal et une liaison USB entre la carte ESP32 et le PC.

La compilation des programmes écrits en langage FORTH s'effectue dans la carte ESP32 et non pas sur le PC. Il n'y a pas de téléversement. Exemple:

```
: >gray ( n -- n' )  
    dup 2/ xor      \ n' = n xor ( 1 time right shift logic )  
    ;
```

Cette définition est transmise par copié/collé dans le terminal. L'interpréteur/compilateur FORTH va analyser le flux et compiler le nouveau mot **>gray**.

Dans la définition de **>gray**, on voit la séquence **dup 2/ xor**. Pour tester cette séquence, il suffit de la taper dans le terminal. Pour exécuter **>gray**, il suffit de taper ce mot dans le terminal, précédé du nombre à transformer.

Le langage FORTH comparé au langage C

C'est la partie que j'aime le moins. Je n'aime pas comparer le langage FORTH par rapport au langage C. Mais comme quasiment tous les développeurs utilisent le langage C, je vais tenter l'exercice.

Voici un test avec **if()** en langage C:

```
if(j > 13){                // If all bits are received  
    rc5_ok = 1;           // Decoding process is OK  
    detachInterrupt(0);   // Disable external interrupt (INT0)  
    return;  
}
```

Test avec **if** en langage FORTH (extrait de code):

```
var-j @ 13 >              \ If all bits are received  
    if
```

```

1 rc5_ok ! \ Decoding process is OK
di          \ Disable external interrupt (INT0)
exit
then

```

Voici l'initialisation de registres en langage C:

```

void setup() {
  // Timer1 module configuration
  TCCR1A = 0;
  TCCR1B = 0;          // Disable Timer1 module
  TCNT1  = 0;          // Set Timer1 preload value to 0 (reset)
  TIMSK1 = 1;          // enable Timer1 overflow interrupt
}

```

La même définition en langage FORTH:

```

: setup {
  \ Timer1 module configuration
  0 TCCR1A !
  0 TCCR1B ! \ Disable Timer1 module
  0 TCNT1  ! \ Set Timer1 preload value to 0 (reset)
  1 TIMSK1 ! \ enable Timer1 overflow interrupt
}

```

Ce que FORTH permet de faire par rapport au langage C

On l'a compris, FORTH donne immédiatement accès à l'ensemble des mots du dictionnaire, mais pas seulement. Via l'interpréteur, on aussi accès à toute la mémoire de la carte ESP32. Connectez-vous à la carte ARDUINO sur laquelle est installé FlashForth, puis tapez simplement:

```
hex here 100 dump
```

Vous devez retrouver ceci sur l'écran du terminal:

```

3FFEE964          DF DF 29 27 6F 59 2B 42 FA CF 9B 84
3FFEE970      39 4E 35 F7 78 FB D2 2C A0 AD 5A AF 7C 14 E3 52
3FFEE980      77 0C 67 CE 53 DE E9 9F 9A 49 AB F7 BC 64 AE E6
3FFEE990      3A DF 1C BB FE B7 C2 73 18 A6 A5 3F A4 68 B5 69
3FFEE9A0      F9 54 68 D9 4D 7C 96 4D 66 9A 02 BF 33 46 46 45
3FFEE9B0      45 39 33 33 2F 0D 08 18 BF 95 AF 87 AC D0 C7 5D
3FFEE9C0      F2 99 B6 43 DF 19 C9 74 10 BD 8C AE 5A 7F 13 F1
3FFEE9D0      9E 00 3D 6F 7F 74 2A 2B 52 2D F4 01 2D 7D B5 1C
3FFEE9E0      4A 88 88 B5 2D BE B1 38 57 79 B2 66 11 2D A1 76
3FFEE9F0      F6 68 1F 71 37 9E C1 82 43 A6 A4 9A 57 5D AC 9A
3FFEEA00      4C AD 03 F1 F8 AF 2E 1A B4 67 9C 71 25 98 E1 A0
3FFEEA10      E6 29 EE 2D EF 6F C7 06 10 E0 33 4A E1 57 58 60
3FFEEA20      08 74 C6 70 BD 70 FE 01 5D 9D 00 9E F7 B7 E0 CA

```

3FFEEA30	72 6E 49 16 0E 7C 3F 23 11 8D 66 55 EC F6 18 01
3FFEEA40	20 E7 48 63 D1 FB 56 77 3E 9A 53 7D B6 A7 A5 AB
3FFEEA50	EA 65 F8 21 3D BA 54 10 06 16 E6 9E 23 CA 87 25
3FFEEA60	E7 D7 C4 45

Ceci correspond au contenu de la mémoire flash.

Et ça, le langage C ne saurait pas le faire?

Si. mais pas de façon aussi simple et interactive qu'en langage FORTH.

Voyons un autre cas mettant en avant l'extraordinaire compacité du langage FORTH...

Mais pourquoi une pile plutôt que des variables?

La pile est un mécanisme implanté sur quasiment tous les microcontrôleurs et microprocesseurs. Même le langage C exploite une pile, mais vous n'y avez pas accès.

Seul le langage FORTH donne un accès complet à la pile de données. Par exemple, pour faire une addition, on empile deux valeurs, on exécute l'addition, on affiche le résultat: **2 5 + .** affiche **7**.

C'est un peu déstabilisant, mais quand on a compris le mécanisme de la pile de données, on apprécie grandement sa redoutable efficacité.

La pile de données permet un passage de données entre mots FORTH bien plus rapidement que par le traitement de variables comme en langage C ou dans n'importe quel autre langage exploitant des variables.

Etes-vous convaincus?

Personnellement, je doute que ce seul chapitre vous convertisse irrémédiablement à la programmation en langage FORTH. En cherchant à maîtriser les cartes ESP32, vous avez deux possibilités:

- programmer en langage C et exploiter les nombreuses bibliothèques disponibles. Mais vous resterez enfermés dans les capacités de ces bibliothèques. L'adaptation des codes en langage C requiert une réelle connaissance en programmation en langage C et maîtriser l'architecture des cartes ESP32. La mise au point de programmes complexes sera toujours un souci.
- tenter l'aventure FORTH et explorer un monde nouveau et passionnant. Certes, ce ne sera pas facile. Il faudra comprendre l'architecture des cartes ESP32, les registres, les flags de registres de manière poussée. En contrepartie, vous aurez accès à une programmation parfaitement adaptée à vos projets.

Existe-t-il des applications professionnelles écrites en FORTH?

Oh oui! A commencer par le télescope spatial HUBBLE dont certains composants ont été écrits en langage FORTH.

Le TGV allemand ICE (Intercity Express) utilise des processeurs RTX2000 pour la commande des moteurs via des semi-conducteurs de puissance. Le langage machine du processeur RTX2000 est le langage FORTH.



Ce même processeur RTX2000 a été utilisé pour la sonde Philae qui a tenté d'atterrir sur une comète.

Le choix du langage FORTH pour des applications professionnelles s'avère intéressant si on considère chaque mot comme une boîte noire. Chaque mot doit être simple, donc avoir une définition assez courte et dépendre de peu de paramètres.

Lors de la phase de mise au point, il devient facile de tester toutes les valeurs possibles traitées par ce mot. Une fois parfaitement fiabilisé, ce mot devient une boîte noire, c'est à dire une fonction dont on fait une confiance sans limite à son bon fonctionnement. De mot en mot, on fiabilise plus facilement un programme complexe en FORTH que dans n'importe quel autre langage de programmation.

Mais si on manque de rigueur, si on construit des usines à gaz, il est aussi très facile d'obtenir une application qui fonctionne mal, voire de planter carrément FORTH!

Pour finir, il est possible, en langage FORTH, d'écrire les mots que vous définissez dans n'importe quelle langue humaine. Cependant, les caractères utilisables sont limités au jeu de caractères ASCII compris entre 33 et 127. Voici comment on pourrait réécrire de manière symbolique les mots high et low:

```
\ Turn a port pin on, dont change the others.  
: __/ ( pinmask portadr -- )  
  mset  
  ;  
\ Turn a port pin off, dont change the others.  
: \__ ( pinmask portadr -- )  
  mclr  
  ;
```

A partir de ce moment, pour allumer la LED, on peut taper:

```
_0_ __/ \ turn LED on
```

Oui! La séquence **_0_ __/** est en langage FORTH!

Avec ESP32forth, voici tous les caractères à votre disposition pouvant composer un mot FORTH:

```
~}|{zyxwvutsrqponmlkjihgfedcba`_  
^]\[ZYXWVUTSRQPONMLKJIHGFEDCBA@?  
>=<;:9876543210/.-,*>('&%$#"!
```

Bonne programmation.

Un vrai FORTH 32 bits avec ESP32Forth

ESP32Forth est un vrai FORTH 32 bits. Qu'est-ce que ça signifie?

Le langage FORTH privilégie la manipulation de valeurs entières. Ces valeurs peuvent être des valeurs littérales, des adresses mémoires, des contenus de registres...

Les valeurs sur la pile de données

Au démarrage de ESP32Forth, l'interpréteur FORTH est disponible. Si vous entrez n'importe quel nombre, il sera déposé sur la pile sous sa forme d'entier 32 bits:

```
35
```

Si on empile une autre valeur, elle sera également empilée. La valeur précédente sera repoussée vers le bas d'une position:

```
45
```

Pour faire la somme de ces deux valeurs, on utilise un mot, ici + :

```
+
```

Nos deux valeurs entières 32 bits sont additionnées et le résultat est déposé sur la pile. Pour afficher ce résultat, on utilisera le mot . :

```
. \ affiche 80
```

En langage FORTH, on peut concentrer toutes ces opérations en une seule ligne:

```
35 45 + . \ display 80
```

Contrairement au langage C, on ne définit pas de type int8 ou **int16** ou **int32**.

Avec ESP32Forth, un caractère ASCII sera désigné par un entier 32 bits, mais dont la valeur sera bornée [32..256[. Exemple:

```
67 emit \ display C
```

Les valeurs en mémoire

ESP32Forth permet de définir des constantes, des variables. Leur contenu sera toujours au format 32 bits. Mais il est des situations où ça ne nous arrange pas forcément. Prenons un exemple simple, définir un alphabet morse. Nous n'avons besoin que de quelques octets:

- un pour définir le nombre de signes du code morse
- un ou plusieurs octets pour chaque lettre du code morse

```
create mA ( -- addr )
```

```

    2 c,
    char . c,    char - c,

create mB ( -- addr )
    4 c,
    char - c,    char . c,    char . c,    char . c,

create mC ( -- addr )
    4 c,
    char - c,    char . c,    char - c,    char . c,

```

Ici, nous définissons seulement 3 mots, **mA**, **mB** et **mC**. Dans chaque mot, on stocke plusieurs octets. La question est: comment va-t-on récupérer les informations dans ces mots?

L'exécution d'un de ces mots dépose une valeur 32 bits, valeur qui correspond à l'adresse mémoire où on a stocké nos informations morse. C'est le mot **c@** qui va nous servir à extraire le code morse de chaque lettre:

```

mA c@ . \ affiche 2
mB c@ . \ affiche 4

```

Le premier octet extrait ainsi va nous servir à gérer une boucle pour afficher le code morse d'une lettre:

```

: .morse ( addr -- )
    dup 1+ swap c@ 0 do
        dup i + c@ emit
    loop
    drop
;
mA .morse \ affiche .-
mB .morse \ affiche -...
mC .morse \ affiche -.-.

```

Il existe plein d'exemple certainement plus élégants. Ici, c'est pour montrer une manière de manipuler des valeurs 8 bits, nos octets, alors qu'on exploite ces octets sur une pile 32 bits.

Traitement par mots selon taille ou type des données

Dans tous les autres langages, on a un mot générique, genre **echo** (en PHP) qui affiche n'importe quel type de donnée. Que ce soit entier, réel, chaîne de caractères, on utilise toujours le même mot. Exemple en langage PHP:

```

$bread = "Pain cuit";
$price = 2.30;

```

```
echo $bread . " : " . $price;  
// affiche    Pain cuit: 2.30
```

Pour tous les programmeurs, cette manière de faire est LA NORME! Alors comment ferait FORTH pour cet exemple en PHP?

```
: pain s" Pain cuit" ;  
: prix s" 2.30" ;  
pain type    s" : " type    prix type  
\ affiche    Pain cuit: 2.30
```

Ici, le mot **type** nous indique qu'on vient de traiter une chaîne de caractères.

Là où PHP (ou n'importe quel autre langage) a une fonction générique et un analyseur syntaxique, FORTH compense avec un type de donnée unique, mais des méthodes de traitement adaptées qui nous informent sur la nature des données traitées.

Voici un cas absolument trivial pour FORTH, afficher un nombre de secondes au format HH:MM:SS:

```
.i :##  
# 6 base !  
# decimal  
[char] : hold  
.i  
.hms ( n -- )  
<# :## :## # # #> type  
.i  
4225 .hms \ display: 01:10:25
```

J'adore cet exemple, car, à ce jour, **AUCUN AUTRE LANGAGE DE PROGRAMMATION** n'est capable de réaliser cette conversion HH:MM:SS de manière aussi élégante et concise.

Vous l'avez compris, le secret de FORTH est dans son vocabulaire.

Conclusion

FORTH n'a pas de typage de données. Toutes les données transitent par une pile de données. Chaque position dans la pile est TOUJOURS un entier 32 bits!

C'est tout ce qu'il y a à savoir.

Les puristes de langages hyper structurés et verbeux, tels C ou Java, crieront certainement à l'hérésie. Et là, je me permettrai de leur répondre: pourquoi avez-vous besoin de typer vos données?

Car, c'est dans cette simplicité que réside la puissance de FORTH: une seule pile de données avec un format non typé et des opérations très simples.

Et je vais vous montrer ce que bien d'autres langages de programmation ne savent pas faire, définir de nouveaux mots de définition:

```
i morse: ( comp: c -- | exec -- )
  create
    c,
  does>
    dup 1+ swap c@ 0 do
      dup i + c@ emit
    loop
    drop space
i
2 morse: mA      char . c,   char = c,
4 morse: mB      char = c,   char . c,   char . c,   char . c,
4 morse: mC      char = c,   char . c,   char = c,   char . c,
mA mB mC        \ display   .- -... -.-
```

Ici, le mot **morse:** est devenu un mot de définition, au même titre que **constant** ou **variable**...

Car FORTH est plus qu'un langage de programmation. C'est un méta-langage, c'est à dire un langage pour construire votre propre langage de programmation....

Dictionnaire / Pile / Variables / Constantes

Étendre le dictionnaire

Forth appartient à la classe des langages d'interprétation tissés. Cela signifie qu'il peut interpréter les commandes tapées sur la console, ainsi que compiler de nouveaux sous-programmes et programmes.

Le compilateur Forth fait partie du langage et des mots spéciaux sont utilisés pour créer de nouvelles entrées de dictionnaire (c'est-à-dire des mots). Les plus importants sont **:** (commencer une nouvelle définition) et **;** (termine la définition). Essayons ceci en tapant:

```
: *+ * + ;
```

Ce qui s'est passé? L'action de **:** est de créer une nouvelle entrée de dictionnaire nommée ***+** et passer du mode interprétation au mode compilation. En mode compilation, l'interpréteur recherche les mots **et**, plutôt que de les exécuter, installe des pointeurs vers leur code. Si le texte est un nombre, au lieu de le pousser sur la pile, ESP32forth construit le nombre dans l'espace alloué pour le nouveau mot, suivant le code spécial qui met le numéro stocké sur la pile chaque fois que le mot est exécuté. L'action d'exécution de ***+** est donc d'exécuter séquentiellement les mots définis précédemment ***** et **+**.

Le mot **;** est spécial. C'est un mot immédiat et il est toujours exécuté, même si le système est en mode compilation. Ce que fait **;** est double. Tout d'abord, il installe le code qui renvoie le contrôle au niveau externe suivant de l'interpréteur et, deuxièmement, il revient du mode compilation au mode interprétation.

Maintenant, essayez votre nouveau mot :

```
decimal 5 6 7 *+ . \ affiche 47 ok<#,ram>
```

Cet exemple illustre deux activités principales de travail dans Forth: ajouter un nouveau mot au dictionnaire, et l'essayer dès qu'il a été défini.

Gestion du dictionnaire

Le mot **forget** suivi du mot à supprimer enlèvera toutes les entrées de dictionnaire que vous avez faites depuis ce mot:

```
: test1 ;  
: test2 ;  
: test3 ;  
forget test2 \ efface test2 et test3 du dictionnaire
```

Piles et notation polonaise inversée

Forth a une pile explicitement visible qui est utilisée pour passer des nombres entre les mots (commandes). Utiliser Forth efficacement vous oblige à penser en termes de pile. Cela peut être difficile au début, mais comme pour tout, cela devient beaucoup plus facile avec la pratique.

En FORTH, La pile est analogue à une pile de cartes avec des nombres écrits dessus. Les nombres sont toujours ajoutés au sommet de la pile et retirés du sommet de la pile. ESP32forth intègre deux piles: la pile de paramètres et la pile de retour, chacune composée d'un certain nombre de cellules pouvant contenir des nombres de 16 bits.

La ligne d'entrée FORTH:

```
decimal 2 5 73 -16
```

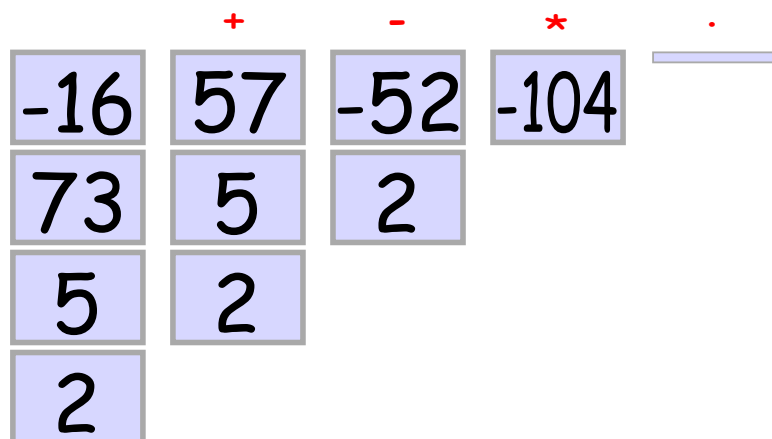
laisse la pile de paramètres dans l'état

Cellule	contenu	commentaire
0	-16	(TOS) Sommet pile
1	73	(NOS) Suivant dans la pile
2	5	
3	2	

Nous utiliserons généralement une numérotation relative à base zéro dans les structures de données Forth telles que piles, tableaux et tables. Notez que, lorsqu'une séquence de nombres est saisie comme celle-ci, le nombre le plus à droite devient *TOS* et le nombre le plus à gauche se trouve au bas de la pile.

Supposons que nous suivions la ligne d'entrée d'origine avec la ligne

```
+ - * .
```



Les opérations produiraient les opérations de pile successives:

Après les deux lignes, la console affiche :

```
decimal 2 5 73 -16 \ affiche: 2 5 73 -16 ok
+ - * .           \ affiche: -104 ok
```

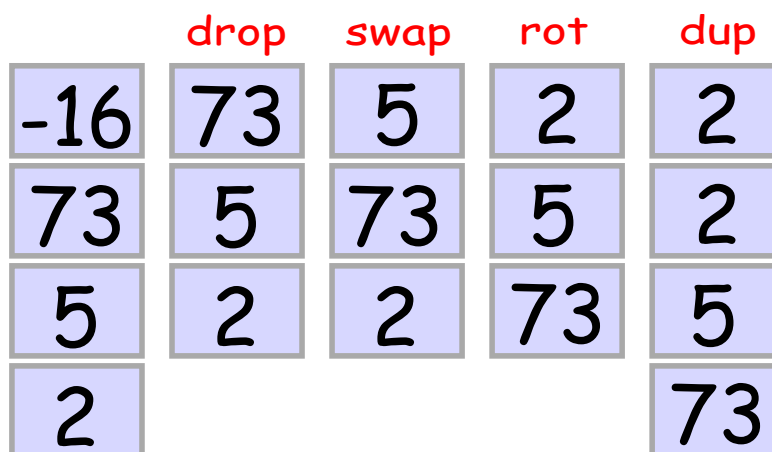

Notez que ESP32forth affiche commodément les éléments de la pile lors de l'interprétation de chaque ligne et que la valeur de -16 est affichée sous la forme d'entier non signé 32 bits. En outre, le mot `.` consomme la valeur de données -104, laissant la pile vide. Si nous exécutons `.` sur la pile maintenant vide, l'interpréteur externe abandonne avec une erreur de pointeur de pile `STACK UNDERFLOW ERROR`.

La notation de programmation où les opérandes apparaissent en premier, suivis du ou des opérateurs est appelée Notation polonaise inverse (RPN).

Manipulation de la pile de paramètres

Étant un système basé sur la pile, ESP32forth doit fournir des moyens de mettre des nombres sur la pile, pour les supprimer et réorganiser leur ordre. On a déjà vu qu'on peut mettre des nombres sur la pile simplement en les tapant. Nous pouvons également intégrer les nombres dans la définition d'un mot FORTH.

Le mot **drop** supprime un numéro du sommet de la pile mettant ainsi le suivant au sommet. Le mot **swap** échange les 2 premiers numéros. **dup** copie le nombre au sommet, poussant tout les autres numéros vers le bas. **rot** fait pivoter les 3 premiers nombres. Ces



actions sont présentées ci-dessous.

La pile de retour et ses utilisations

Lors de la compilation d'un nouveau mot, ESP32forth établit des liens entre le mot appelant et les mots définis précédemment qui doivent être invoqués par l'exécution du nouveau mot. Ce mécanisme de liaison, lors de l'exécution, utilise la pile de retour (rstack). L'adresse du mot suivant à invoquer est placée sur la pile de retour de sorte que, lorsque le mot courant est terminé en cours d'exécution, le système sait où passer au mot suivant. Comme les mots peuvent être imbriqués, il doit y avoir une pile de ces adresses de retour.

En plus de servir de réservoir d'adresses de retour, l'utilisateur peut également stocker et récupérer à partir de la pile de retour, mais cela doit être fait avec soin car la pile de retour est essentielle à l'exécution du programme. Si vous utilisez la pile de retour pour le

stockage temporaire, vous devez la remettre dans son état d'origine, sinon vous ferez probablement planter le système ESP32forth. Malgré le danger, il y a des moments où l'utilisation de pile de retour comme stockage temporaire peut rendre votre code moins complexe.

Pour stocker dans la pile, utilisez **>r** pour déplacer le sommet de la pile de paramètres vers le haut de la pile de retour. Pour récupérer une valeur, **r>** déplace la valeur supérieure de la pile de retour vers le sommet de la pile de paramètres. Pour supprimer simplement une valeur du haut de la pile, il y a le mot **rdrop**. Le mot **r@** copie le haut de la pile de retour dans la pile de paramètres.

Utilisation de la mémoire

Dans ESP32forth, les nombres 32 bits sont extraits de la mémoire vers la pile par le mot **@** (fetch) et stocké du sommet à la mémoire par le mot **!** (store). **@** attend une adresse sur la pile et remplace l'adresse par son contenu. **!** attend un nombre et une adresse pour le stocker. Il place le numéro dans l'emplacement de mémoire référencé par l'adresse, consommant les deux paramètres dans le processus.

Les nombres non signés qui représentent des valeurs de 8 bits (octets) peuvent être placés dans des caractères de la taille d'un caractère. cellules de mémoire en utilisant **c@** et **c!**.

```
create testVar
  cell allot
$F7 testVar c!
testVar c@ . \ affiche 247
```

Variables

Une variable est un emplacement nommé en mémoire qui peut stocker un nombre, tel que le résultat intermédiaire d'un calcul, hors de la pile. Par exemple:

```
variable x
```

crée un emplacement de stockage nommé, **x**, qui s'exécute en laissant l'adresse de son emplacement de stockage au sommet de la pile:

```
x . \ affiche l'adresse
```

Nous pouvons alors aller chercher ou stocker à cette adresse :

```
variable x
3 x !
```

```
x @ . \ display: 3
```

Constantes

Une constante est un nombre que vous ne voudriez pas changer pendant l'exécution d'un programme. Le résultat de l'exécution du mot associé à une constante est la valeur des données restant sur la pile.

```
\ définit les pins VSPI
19 constant VSPI_MISO
23 constant VSPI_MOSI
18 constant VSPI_SCLK
05 constant VSPI_CS

\ définit la fréquence du port SPI
4000000 constant SPI_FREQ

\ sélectionne le vocabulaire SPI
only FORTH SPI also

\ initialise le port SPI
: init.VSPI ( -- )
  VSPI_CS OUTPUT pinMode
  VSPI_SCLK VSPI_MISO VSPI_MOSI VSPI_CS SPI.begin
  SPI_FREQ SPI.setFrequency
;
```

Valeurs pseudo-constantes

Une valeur définie avec `value` est un type hybride de variable et constante. Nous définissons et initialisons une valeur et est invoquée comme nous le ferions pour une constante. On peut aussi changer une valeur comme on peut changer une variable.

```
decimal
13 value thirteen
thirteen . \ display: 13
47 to thirteen
thirteen . \ display: 47
```

Le mot **to** fonctionne également dans les définitions de mots, en remplaçant la valeur qui le suit par tout ce qui est actuellement au sommet de la pile. Vous devez faire attention à ce que **to** soit suivi d'une valeur définie par **value** et non d'autre chose.

Outils de base pour l'allocation de mémoire

The words `create` and `allot` are the basic tools for setting aside memory and attaching a convenient label to it. For example, the following transcript shows a new dictionary entry `x`

being created and an extra 16 bytes of memory being allotted to it.

Les mots **create** et **allot** sont les outils de base pour mettre de côté la mémoire et y attacher une étiquette pratique. Par exemple, la transcription suivante montre une nouvelle entrée de dictionnaire x en cours de création et 16 octets de mémoire supplémentaires qui lui sont alloués.

```
create graphic-array ( --- addr )
  %00000000 c,
  %00000010 c,
  %00000100 c,
  %00001000 c,
  %00010000 c,
  %00100000 c,
  %01000000 c,
  %10000000 c,
```

Lorsqu'il est exécuté, le mot **graphic-array** poussera l'adresse de la première entrée dans sa mémoire allouée place sur la pile.

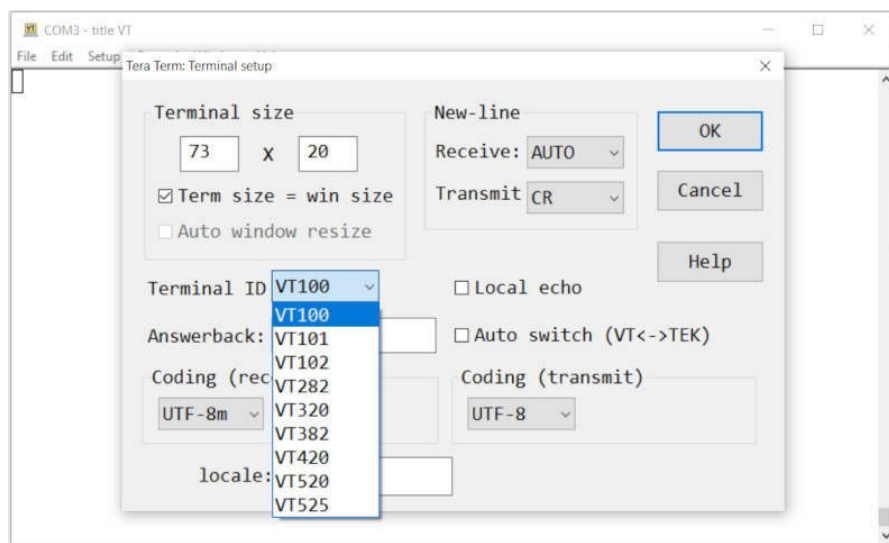
Nous pouvons maintenant accéder à la mémoire allouée à **graphic-array** en utilisant les mots de récupération et de stockage discutés plus tôt. Pour calculer l'adresse du troisième octet attribué à **graphic-array** on pourrait dire **graphic-array 2 +**, en se rappelant que les indices commencent à 0.

```
30 graphic-array 2 + c!
graphic-array 2 + c@ .    \ display 30
```

Couleurs de texte et position de l'affichage sur terminal

Codage ANSI des terminaux

Si vous utilisez un logiciel de terminal pour communiquer avec ESP32forth, il y a de grandes chances pour que ce terminal émule un terminal de type VT ou équivalent. Ici, TeraTerm paramétré pour émuler un terminal VT100:



Ces terminaux ont deux caractéristiques intéressantes:

- colorer le fond de page et le texte à afficher
- positionner le curseur d'affichage

Ces deux caractéristiques sont contrôlées par des séquences ESC (échappement). Voici comment sont définis les mots **bg** et **fg** dans ESP32forth:

```
forth definitions ansi
: fg ( n -- ) esc ." [38;5;" n. ." m" ;
: bg ( n -- ) esc ." [48;5;" n. ." m" ;
: normal esc ." [0m" ;
: at-xy ( x y -- ) esc ." [" 1+ n. ." ;" 1+ n. ." H" ;
: page esc ." [2J" esc ." [H" ;
```

Le mot **normal** annule les séquences de coloration définies par **bg** et **fg**.

Le mot **page** vide l'écran du terminal et positionne le curseur au coin supérieur gauche de l'écran.

Coloration du texte

Voyons comment colorer d'abord le texte:

```
: testFG ( -- )
  page
  16 0 do
    16 0 do
      j 16 * i + fg
      ." X"
    loop
  cr
loop
normal
;
```

L'exécution de **testFG** donne ceci à l'affichage:



Pour tester les couleurs de fond, on procédera de cette manière:

```
: testBG ( -- )
  page
  16 0 do
    16 0 do
      j 16 * i + bg
      space space
    loop
  cr
loop
normal
```

;

L'exécution de **testBG** donne ceci à l'affichage:



Position de l'affichage

Le terminal est la solution la plus simple pour communiquer avec ESP32forth. Avec les séquences d'échappement ANSI il est facile d'améliorer la présentation des données.

```
09 constant red
11 constant yellow
14 constant cyan
15 constant whyte
: box { x0 y0 xn yn color -- }
  color bg
  yn y0 - 1+ \ determine height
  0 do
    x0 y0 i + at-xy
    xn x0 - spaces
  loop
  normal
;

: 3boxes ( -- )
  page
  2 4 20 6 cyan box
```



```
8 6 28 8 red box
14 8 36 10 yellow box
0 0 at-xy
;
```

L'exécution de **3boxes** affiche ceci:



Vous voici maintenant équipés pour réaliser des interfaces simples et efficaces permettant une interaction avec les définitions FORTH compilées par ESP32forth.

Les variables locales avec ESP32Forth

Introduction

Le langage FORTH traite les données essentiellement par la pile de données. Ce mécanisme très simple offre une performance inégalée. A contrario, suivre le cheminement des données peut rapidement devenir complexe. Les variables locales offrent une alternative intéressante.

Le faux commentaire de pile

Si vous suivez les différents exemples FORTH, vous avez noté les commentaires de pile encadrés par **(** et **)**. Exemple:

```
\ addition deux valeurs non signées, laisse sum et carry sur la pile
: um+ ( u1 u2 -- sum carry )
    \ ici la définition
;
```

Ici, le commentaire **(u1 u2 -- sum carry)** n'a absolument aucune action sur le reste du code FORTH. C'est un pur commentaire.

Quand on prépare une définition complexe, la solution est d'utiliser des variables locales encadrées par **{** et **}**. Exemple:

```
: 2OVER { a b c d }
    a b c d a b
;
```

On définit quatre variables locales **a b c** et **d**.

Les mots **{** et **}** ressemblent aux mots **(** et **)** mais n'ont pas du tout le même effet. Les codes placés entre **{** et **}** sont des variables locales. Seule contrainte: ne pas utiliser de noms de variables qui pourraient être des mots FORTH du dictionnaire FORTH. On aurait aussi bien pu écrire notre exemple comme ceci:

```
: 2OVER { varA varB varC varD }
    varA varB varC varD varA varB
;
```

Chaque variable va prendre la valeur de la donnée de pile dans l'ordre de leur dépôt sur la pile de données. ici, 1 va dans **varA**, 2 dans **varB**, etc...:

```
--> 1 2 3 4
ok
1 2 3 4 --> 2over
ok
```

```
1 2 3 4 1 2 -->
```

Notre faux commentaire de pile peut être complété comme ceci:

```
: 2OVER { varA varB varC varD -- varA varB }  
.....
```

Les caractères qui suivent `--` n'ont pas d'effet. Le seul intérêt est de rendre notre faux commentaire semblable à un vrai commentaire de pile.

Action sur les variables locales

Les variables locales agissent exactement comme des pseudo-variables définies par value.

Exemple:

```
: 3x+1 { var -- sum }  
  var 3 * 1 +  
  ;
```

A le même effet que ceci:

```
0 value var  
: 3x+1 ( var -- sum )  
  to var  
  var 3 * 1 +  
  ;
```

Dans cet exemple, `var` est défini explicitement par value.

On affecte une valeur à une variable locale avec le mot `to` ou `+to` pour incrémenter le contenu d'une variable locale. Dans cet exemple, on rajoute une variable locale `result` initialisée à zéro dans le code de notre mot:

```
: a+bEXP2 { varA varB -- (a+b)EXP2 }  
  0 { result }  
  varA varA *      to result  
  varB varB *      +to result  
  varA varB * 2 * +to result  
  result  
  ;
```

Est-ce que ce n'est pas plus lisible que ceci?

```
: a+bEXP2 ( varA varB -- result )  
  2dup  
  * 2 * >r  
  dup *  
  swap dup * +  
  r> +  
  ;
```

Voici un dernier exemple, la définition du mot **um+** qui additionne deux entiers non signés et laisse sur la pile de données la somme et la valeur de débordement de cette somme:

```
\ addition deux entiers non signés, laisse sum et carry sur la pile
: um+ { u1 u2 -- sum carry }
  0 { sum }
  cell for
    aft
      u1 $100 /mod to u1
      u2 $100 /mod to u2
      +
      cell 1- i - 8 * lshift +to sum
    then
  next
  sum
  u1 u2 + abs
;
```

Voici un exemple plus complexe, la réécriture de **DUMP** en exploitant des variables locales:

```
\ variables locales dans DUMP:
\ START_ADDR      \ première adresse pour dump
\ END_ADDR        \ dernière adresse pour dump
\ 0START_ADDR     \ première adresse pour la boucle dans dump
\ LINES           \ nombre de lignes pour la boucle dump
\ myBASE          \ base numérique courante
internals
: dump ( start len -- )
  cr cr ." --addr--- "
  ." 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F  -----
chars-----"
  2dup + { END_ADDR }          \ store latest address to dump
  swap { START_ADDR }         \ store START address to dump
  START_ADDR 16 / 16 * { 0START_ADDR } \ calc. addr for loop start
  16 / 1+ { LINES }
  base @ { myBASE }           \ save current base
  hex
  \ outer loop
  LINES 0 do
line    0START_ADDR i 16 * +      \ calc start address for current
      cr <# # # # # [char] - hold # # # # #> type
      space space      \ and display address
      \ first inner loop, display bytes
      16 0 do
          \ calculate real address
```

```

        @START_ADDR j 16 * i + +
        ca@ <# # # #> type space \ display byte in format: NN
    loop
    space
    \ second inner loop, display chars
    16 0 do
        \ calculate real address
        @START_ADDR j 16 * i + +
        \ display char if code in interval 32-127
        ca@      dup 32 < over 127 > or
        if      drop [char] . emit
        else    emit
        then
    loop
    loop
    myBASE base !           \ restore current base
    cr cr
;
forth

```

L'emploi des variables locales simplifie considérablement la manipulation de données sur les piles. Le code est plus lisible. On remarquera qu'il n'est pas nécessaire de pré-déclarer ces variables locales, il suffit de les désigner au moment de les utiliser, par exemple: **base @ { myBASE }**.

ATTENTION: si vous utilisez des variables locales dans une définition, n'utilisez plus les mots **>r** et **r>**, sinon vous risquez de perturber la gestion des variables locales. Il suffit de regarder la décompilation de cette version de **DUMP** pour comprendre la raison de cet avertissement:

```

: dump cr cr s" --addr--- " type
  s" 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F  -----chars-----" type
  2dup + >R SWAP >R -4 local@ 16 / 16 * >R 16 / 1+ >R base @ >R
  hex -8 local@ 0 (do) -20 local@ R@ 16 * + cr
  <# # # # # 45 hold # # # # #> type space space
  16 0 (do) -28 local@ j 16 * R@ + + CA@ <# # # #> type space 1 (+loop)
  @BRANCH rdrop rdrop space 16 0 (do) -28 local@ j 16 * R@ + + CA@ DUP 32 < OVER 127 > OR
  @BRANCH DROP 46 emit BRANCH emit 1 (+loop) @BRANCH rdrop rdrop 1 (+loop)
  @BRANCH rdrop rdrop -4 local@ base ! cr cr rdrop rdrop rdrop rdrop rdrop ;

```

Structures de données pour ESP32forth

Préambule

ESP32forth est une version 32 bits du langage FORTH. Ceux qui ont pratiqué FORTH depuis ses débuts ont programmé avec des versions 16 bits. Cette taille de données est déterminée par la taille des éléments déposés sur la pile de données. Pour connaître la taille en octets des éléments, il faut exécuter le mot `cell`. Exécution de ce mot pour ESP32forth:

```
cell . \ affiche 4
```

La valeur 4 signifie que la taille des éléments déposés sur la pile de données est de 4 octets, soit $4 \times 8 \text{ bits} = 32 \text{ bits}$.

Avec une version FORTH 16 bits, `cell` empilera la valeur 2. De même, si vous utilisez une version 64 bits, `cell` empilera la valeur 8.

Les tableaux en FORTH

Commençons par des structures assez simples: les tableaux. Nous n'aborderons que les tableaux à une ou deux dimensions.

Tableau de données 32 bits à une dimension

C'est le type de tableau le plus simple. Pour créer un tableau de ce type, on utilise le mot **create** suivi du nom du tableau à créer:

```
create temperatures
    34 ,    37 ,    42 ,    36 ,    25 ,    12 ,
```

Dans ce tableau, on stocke 6 valeurs: 34, 37....12. Pour récupérer une valeur, il suffit d'utiliser le mot `@` en incrémentant l'adresse empilée par **temperatures** avec le décalage souhaité:

```
temperatures    \ empile addr
    0 cell *      \ calcule décalage 0
    +             \ ajout décalage à addr
    @ .           \ affiche 34

temperatures    \ empile addr
    1 cell *      \ calcule décalage 1
    +             \ ajout décalage à addr
    @ .           \ affiche 37
```

On peut factoriser le code d'accès à la valeur souhaitée en définissant un mot qui va calculer cette adresse:

```
: temp@ ( index -- value )
    cell * temperatures + @
;
0 temp@ . \ affiche 34
2 temp@ . \ affiche 42
```

Vous noterez que pour n valeurs stockées dans ce tableau, ici 6 valeurs, l'index d'accès doit toujours être dans l'intervalle [0..n-1].

Mots de définition de tableaux

Voici comment créer un mot de définition de tableaux d'entiers à une dimension:

```
: array ( comp: -- | exec: index -- addr )
    create
    does>
        swap cell * +
;
array myTemps
    21 ,    32 ,    45 ,    44 ,    28 ,    12 ,
0 myTemps @ . \ affiche 21
5 myTemps @ . \ affiche 12
```

Dans notre exemple, nous stockons 6 valeurs comprises entre 0 et 255. Il est aisé de créer une variante de **array** pour gérer nos données de manière plus compacte:

```
: arrayC ( comp: -- | exec: index -- addr )
    create
    does>
        +
;
arrayC myCTemps
    21 c,    32 c,    45 c,    44 c,    28 c,    12 c,
0 myCTemps c@ . \ display 21
5 myCTemps c@ . \ display 12
```

Avec cette variante, on stocke les mêmes valeurs dans quatre fois moins d'espace mémoire.

Lire et écrire dans un tableau

Il est tout à fait possible de créer un tableau vide de n éléments et d'écrire et lire des valeurs dans ce tableau:

```
arrayC myCTemps
```



```

    6 allot          \ réserve 6 octets
    0 myCTemps 6 0 fill \ remplis ces 6 octets avec valeur 0
32 0 myCTemps c!      \ stocke 32 dans myCTemps[0]
25 5 myCTemps c!      \ stocke 25 dans myCTemps[5]
0 myCTemps c@ .       \ affiche 32

```

Dans notre exemple, le tableau contient 6 éléments. Avec ESP32forth, il y a assez d'espace mémoire pour traiter des tableaux bien plus grands, avec 1.000 ou 10.000 éléments par exemple. Il est facile de créer des tableaux à plusieurs dimensions. Exemple de tableau à deux dimensions:

```

63 constant SCR_WIDTH
16 constant SCR_HEIGHT
create mySCREEN
    SCR_WIDTH SCR_HEIGHT * allot          \ réserve 63 * 16 octets
    mySCREEN SCR_WIDTH SCR_HEIGHT * bl fill \ remplis cet espace
avec 'space'

```

Ici, on définit un tableau à deux dimensions nommé **mySCREEN** qui sera un écran virtuel de 16 lignes et 63 colonnes.

Il suffit de réserver un espace mémoire qui soit le produit des dimensions X et Y du tableau à utiliser. Voyons maintenant comment gérer ce tableau à deux dimensions:

```

: xySCRaddr { x y -- addr }
    SCR_WIDTH y *
    x + mySCREEN +
;
: SCR@ ( x y -- c )
    xySCRaddr c@
;
: SCR! ( c x y -- )
    xySCRaddr c!
;
char X 15 5 SCR!    \ stocke char X à col 15 ligne 5
15 5 SCR@ emit      \ affiche X

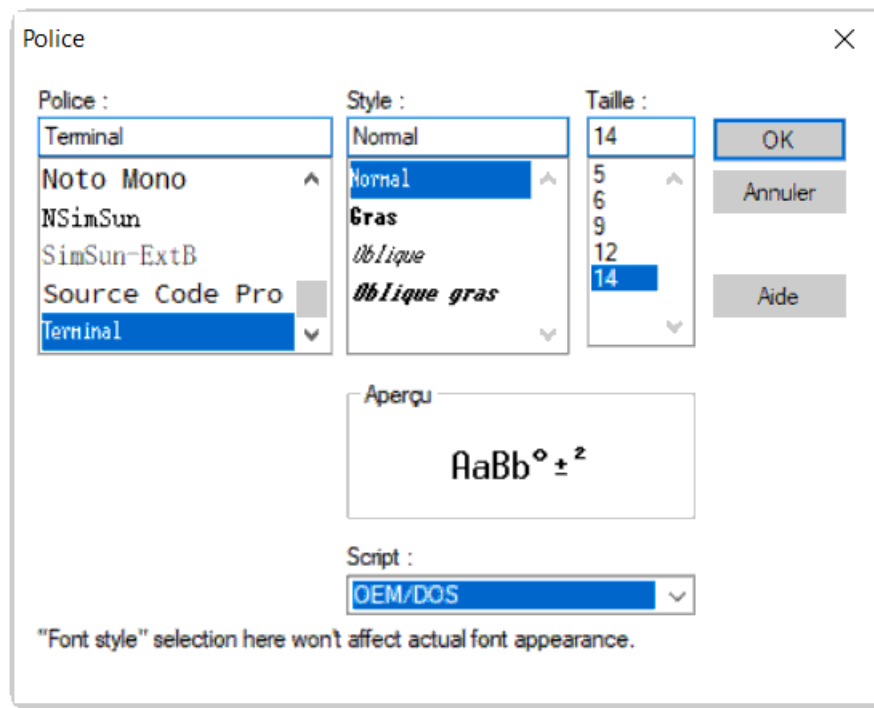
```

Exemple pratique de gestion d'un écran virtuel

Avant d'aller plus loin dans notre exemple de gestion d'un écran virtuel, voyons comment modifier le jeu de caractères du terminal TERA TERM et l'afficher.

Lancer TERA TERM:

- dans la barre de menu, cliquer sur Setup
- sélectionner Font et Font...
- paramétrer la fonte ci-après:



Voici comment afficher la table des caractères disponibles:

```
: tableChars ( -- )
  base @ >r hex
  128 32 do
    16 0 do
      j i + dup . space emit space space
    loop
    cr
  16 +loop
  256 160 do
    16 0 do
      j i + dup . space emit space space
    loop
    cr
  16 +loop
  cr
  r> base !
;
tableChars
```

Voici le résultat de l'exécution de tableChars:

Ces caractères sont ceux du jeu ASCII MS-DOS. Certains de ces caractères sont semi-graphiques. Voici une insertion très simple d'un de ces caractères dans notre écran virtuel:

Voyons maintenant comment afficher le contenu de notre écran virtuel. Si on considère chaque ligne de l'écran virtuel comme chaîne alphanumérique, il suffit de définir ce mot pour afficher une des lignes de notre écran virtuel:

Au passage, on va créer une définition permettant d'afficher n fois un même caractère:

Et maintenant, on définit le mot permettant d'afficher le contenu de notre écran virtuel. Pour bien voir le contenu de cet écran virtuel, on l'encadre avec des caractères spéciaux:

L'exécution de notre mot **dispScreen** affiche ceci:



Dans notre exemple d'écran virtuel, nous montrons que la gestion d'un tableau à deux dimensions a une application concrète. Notre écran virtuel est accessible en écriture et en lecture. Ici, nous affichons notre écran virtuel dans la fenêtre du terminal. Cet affichage est loin d'être performant. Mais il peut être bien plus rapide sur un vrai écran OLED.

Gestion de structures complexes

ESP32forth dispose du vocabulaire structures. Le contenu de ce vocabulaire permet de définir des structures de données complexes.

Voici un exemple trivial de structure:

```
structures
struct YMDHMS
  ptr field >year
  ptr field >month
  ptr field >day
  ptr field >hour
  ptr field >min
  ptr field >sec
```

Ici, on définit la structure YMDHMS. Cette structure gère les pointeurs **>year >month >day >hour >min** et **>sec**.

Le mot **YMDHMS** a comme seule utilité d'initialiser et regrouper les pointeurs dans la structure complexe. Voici comment sont utilisés ces pointeurs:

```
create DateTime
  YMDHMS allot

2022 DateTime >year  !
  03 DateTime >month !
  21 DateTime >day   !
```

```

22 DateTime >hour    !
36 DateTime >min     !
15 DateTime >sec     !

: .date ( date -- )
  >r
  ." YEAR: " r@ >year    @ . cr
  ." MONTH: " r@ >month  @ . cr
  ." DAY: " r@ >day      @ . cr
  ." HH: " r@ >hour      @ . cr
  ." MM: " r@ >min       @ . cr
  ." SS: " r@ >sec       @ . cr
  r> drop
;

DateTime .date

```

On a défini le mot **DateTime** qui est un tableau simple de 6 cellules 32 bits consécutives. L'accès à chacune des cellules est réalisée par l'intermédiaire du pointeur correspondant. On peut redéfinir l'espace alloué de notre structure **YMDHMS** en utilisant le mot **i8** pour pointer des octets:

```

structures
struct cYMDHMS
  ptr field >year
  i8 field >month
  i8 field >day
  i8 field >hour
  i8 field >min
  i8 field >sec

create cDateTime
  cYMDHMS allot

2022 cDateTime >year    !
03 cDateTime >month c!
21 cDateTime >day      c!
22 cDateTime >hour     c!
36 cDateTime >min      c!
15 cDateTime >sec      c!

: .cDate ( date -- )
  >r
  ." YEAR: " r@ >year    @ . cr
  ." MONTH: " r@ >month  c@ . cr
  ." DAY: " r@ >day      c@ . cr

```

```

."      HH: " r@ >hour      c@ . cr
."      MM: " r@ >min       c@ . cr
."      SS: " r@ >sec       c@ . cr
r> drop
;
cDateTime .cDate      \ affiche:
\  YEAR: 2022
\  MONTH: 3
\   DAY: 21
\   HH: 22
\   MM: 36
\   SS: 15

```

Dans cette structure cYMDHMS, on a gardé l'année au format 32 bits et réduit toutes les autres valeurs à des entiers 8 bits. On constate, dans le code de .cDate, que l'utilisation des pointeurs permet un accès aisé à chaque élément de notre structure complexe....

Définition de sprites

On a précédemment défini un écran virtuel comme tableau à deux dimensions. Les dimensions de ce tableau sont définies par deux constantes. Rappel de la définition de cet écran virtuel:

```

63 constant SCR_WIDTH
16 constant SCR_HEIGHT
create mySCREEN
    SCR_WIDTH SCR_HEIGHT * allot
mySCREEN SCR_WIDTH SCR_HEIGHT * bl fill

```

Avec cette méthode de programmation, l'inconvénient est que les dimensions sont définies dans des constantes, donc en dehors du tableau. Il serait plus intéressant d'embarquer les dimensions du tableau dans la table. Pour ce faire, on va définir une structure adaptée à ce cas:

```

structures
struct cARRAY
    i8 field >width
    i8 field >height
    i8 field >content

create myVscreen      \ definit un ecran 8x32 octets
    32 c,              \ compile width
    08 c,              \ compile height
    myVscreen >width  c@
    myVscreen >height c@ * allot

```

Pour définir un sprite logiciel, on va mutualiser très simplement cette définition:

```

: sprite: ( width height -- )
  create
    swap c, c, \ compile width et height
  does>
;
2 1 sprite: blackChars
  $db c, $db c,
2 1 sprite: greyChars
  $b2 c, $b2 c,
blackChars >content 2 type \ affiche contenu du sprite blackChars

```

Voici comment définir un sprite 5 x 7 octets:

```

5 7 sprite: char3
  $20 c, $db c, $db c, $db c, $20 c,
  $db c, $20 c, $20 c, $20 c, $db c,
  $20 c, $20 c, $20 c, $20 c, $db c,
  $20 c, $db c, $db c, $db c, $20 c,
  $20 c, $20 c, $20 c, $20 c, $db c,
  $db c, $20 c, $20 c, $20 c, $db c,
  $20 c, $db c, $db c, $db c, $20 c,

```

Pour l'affichage du sprite, à partir d'une position x y dans la fenêtre du terminal, une simple boucle suffit:

```

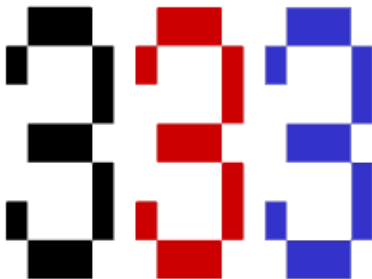
: .sprite { xpos ypos sprAddr -- }
  sprAddr >height c@ 0 do
    xpos ypos at-xy
    sprAddr >width c@ i * \ calculate offset in sprite datas
    sprAddr >content + \ calculate real address for line n
in sprite datas
    sprAddr >width c@ type \ display line
    1 +to ypos \ increment y position
  loop
;

0 constant blackColor
1 constant redColor
4 constant blueColor
10 02 char3 .sprite
redColor fg
16 02 char3 .sprite
blueColor fg
22 02 char3 .sprite
blackColor fg
cr cr

```

Résultat de l'affichage de notre sprite:

```
COM3 - Tera Term VT
File Edit Setup Control Window Help
ok
-->
ok
-->
ok
-->
ok
-->
ok
-->
ok
--> blackColor fg
ok
```

Three 3x3 pixel art patterns are displayed side-by-side. The first pattern is black on a white background, the second is red, and the third is blue. Each pattern consists of a central white square with black, red, or blue pixels forming a cross-like shape around it.

J'espère que le contenu de ce chapitre vous aura donné quelques idées intéressantes que vous aimeriez partager...

Les vocabulaires avec ESP32forth

En FORTH, la notion de procédure et de fonction n'existe pas. Les instructions FORTH s'appellent des MOTS. A l'instar d'une langue traditionnelle, FORTH organise les mots qui le composent en VOCABULAIRES, ensemble de mots ayant un trait commun.

Programmer en FORTH consiste à enrichir un vocabulaire existant, ou à en définir un nouveau, relatif à l'application en cours de développement.

Liste des vocabulaires

Un vocabulaire est une liste ordonnée de mots, recherchés du plus récemment créé au moins récemment créé. L'ordre de recherche est une pile de vocabulaires. L'exécution du nom d'un vocabulaire remplace le haut de la pile d'ordre de recherche par ce vocabulaire.

Pour voir la liste des différents vocabulaires disponibles dans ESP32forth, on va utiliser le mot **voclist**:

```
--> internals voclist      \ affiche
registers
ansi
editor
streams
tasks
rtos
sockets
Serial
ledc
SPIFFS
SD_MMC
SD
WiFi
Wire
ESP
structures
internalized
internals
FORTH
```

Cette liste n'est pas limitée. Des vocabulaires supplémentaires peuvent apparaître si on compile certaines extensions.

Le principal vocabulaire s'appelle **FORTH**. Tous les autres vocabulaires sont rattachés au vocabulaire **FORTH**.

Les vocabulaires essentiels

Voici la liste des principaux vocabulaires disponibles dans ESP32forth :

- **ansi** gestion de l'affichage dans un terminal ANSI ;
- **editor** donne accès aux commandes d'édition des fichiers de type bloc ;
- **oled** gestion d'afficheurs OLED 128 x 32 ou 128 x 64 pixels. Le contenu de ce vocabulaire n'est disponible qu'après compilation de l'extension **oled.h** ;
- **structures** gestion de structures complexes ;
- @TODO : à compléter

Liste du contenu d'un vocabulaire

Pour voir le contenu d'un vocabulaire, on utilise le mot **vlist** en ayant préalablement sélectionné le vocabulaire adéquat:

```
sockets vlist
```

Sélectionne le vocabulaire **sockets** et affiche son contenu:

```
--> sockets vlist \ affiche:
ip. ip# ->h_addr ->addr! ->addr@ ->port! ->port@ sockaddr l, s, bs,
SO_REUSEADDR
SOL_SOCKET sizeof(sockaddr_in) AF_INET SOCK_RAW SOCK_DGRAM
SOCK_STREAM
socket setsockopt bind listen connect sockaccept select poll send
sendto
sendmsg recv recvfrom recvmsg gethostbyname errno sockets-builtins
```

La sélection d'un vocabulaire donne accès aux mots définis dans ce vocabulaire.

Par exemple, le mot **voclist** n'est pas accessible sans invoquer d'abord le vocabulaire **internals**.

Un même mot peut être défini dans deux vocabulaires différents et avoir deux actions différentes: le mot **l** est défini dans les deux vocabulaires **asm** et **editor**.

C'est encore plus flagrant avec le mot **server**, défini dans les vocabulaires **httpd**, **telnetd** et **web-interface**.

Utilisation des mots d'un vocabulaire

Pour compiler un mot défini dans un autre vocabulaire que FORTH, il y a deux solutions. La première solution consiste à appeler simplement ce vocabulaire avant de définir le mot qui va utiliser des mots de ce vocabulaire.

Ici, on définit un mot **serial2-type** qui utilise le mot **Serial2.write** défini dans le vocabulaire **serial**:

```
serial \ Selection vocabulaire Serial
: serial2-type ( a n -- )
  Serial2.write drop
;
```

La seconde solution permet d'intégrer un seul mot d'un vocabulaire spécifique:

```
: serial2-type ( a n -- )
  [ serial ] Serial2.write [ FORTH ] \ compile mot depuis
vocabulaire serial
drop
;
```

La sélection d'un vocabulaire peut être effectuée implicitement depuis un autre mot du vocabulaire FORTH.

Chainage des vocabulaires

L'ordre de recherche d'un mot dans un vocabulaire peut être très important. En cas de mots ayant un même nom, on lève toute ambiguïté en maîtrisant l'ordre de recherche dans les différents vocabulaires qui nous intéressent.

Avant de créer un chaînage de vocabulaires, on restreint l'ordre de recherche avec le mot **only**:

```
asm xtensa
order \ affiche: xtensa >> asm >> FORTH
only
order \ affiche: FORTH
```

On duplique ensuite le chaînage des vocabulaires avec le mot **also**:

```
only
order \ affiche: FORTH
asm also
order \ affiche: asm >> FORTH
xtensa
order \ affiche: xtensa >> asm >> FORTH
```

Voici une séquence de chaînage compacte:

```
only asm also xtensa
```

Le dernier vocabulaire ainsi chaîné sera le premier exploré quand on exécutera ou compilera un nouveau mot.

```
only
```

```
order      \ affiche:      FORTH
also ledc  also serial also SPIFFS
order      \ affiche:      SPIFFS >> FORTH
           \               Serial >> FORTH
           \               ledc >> FORTH
           \               FORTH
```

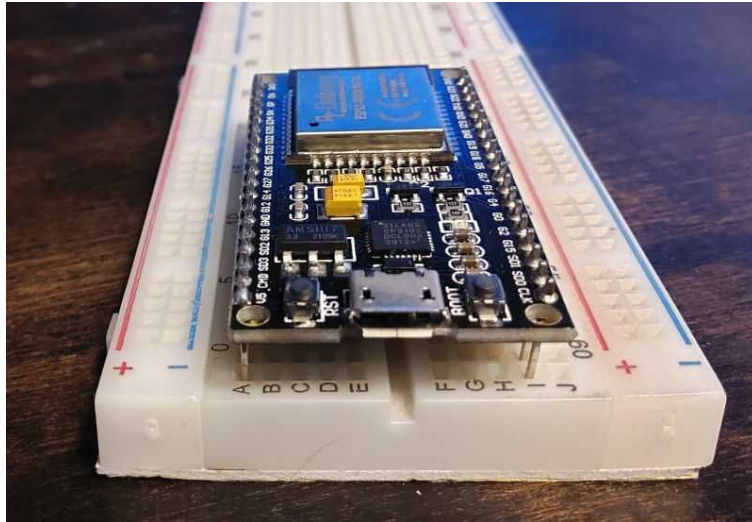
L'ordre de recherche, ici, commencera par le vocabulaire **SPIFFS**, puis **Serial**, puis **ledc** et pour finir le vocabulaire **FORTH**:

- si le mot recherché n'est pas trouvé, il y a une erreur de compilation;
- si le mot est trouvé dans un vocabulaire, c'est ce mot qui sera compilé, même s'il est défini dans le vocabulaire suivant;

Adapter les plaques d'essai à la carte ESP32

Les plaques d'essai pour ESP32

Vous venez de recevoir vos cartes ESP32. Et première mauvaise surprise, cette carte s'intègre très mal à la plaque d'essai:

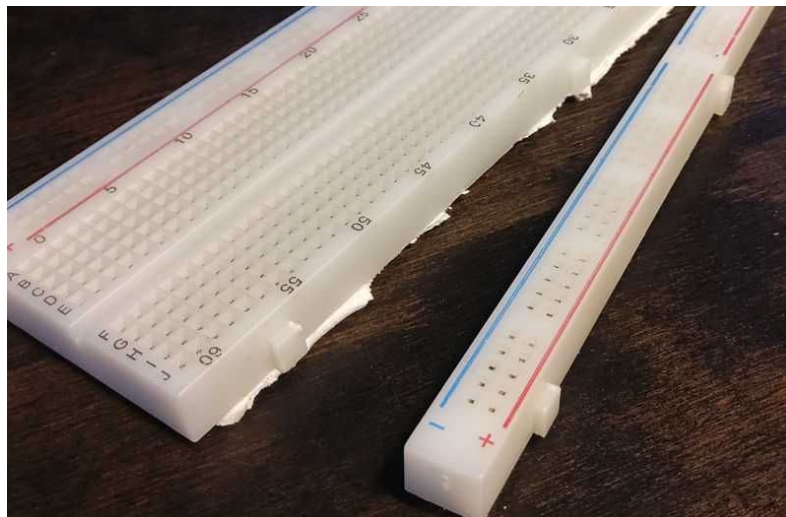


Il n'existe pas de plaque d'essai spécialement adaptée aux cartes ESP32.

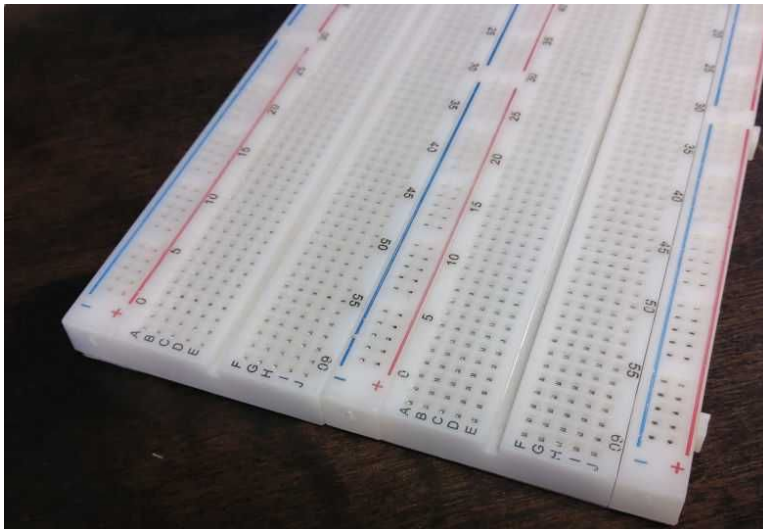
Construire une plaque d'essai adaptée à la carte ESP32

On va construire notre propre plaque d'essai. Pour celà, il faut disposer de deux plaques d'essai identiques.

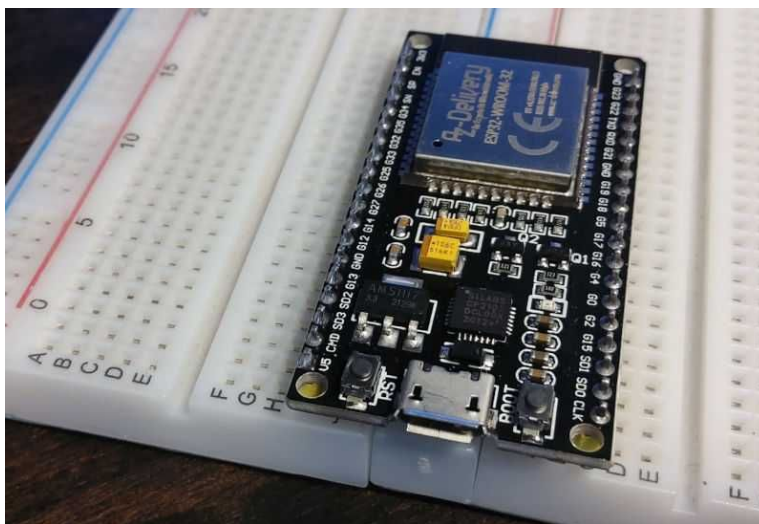
Sur l'une des plaques, on va retirer une ligne d'alimentation. Pour ce faire, utilisez un cutter et découpez par dessous. Vous devez pouvoir séparer cette ligne d'alimentation comme ceci:



On peut ensuite réassembler la carte entière avec cette carte. Vous avez des chevrons sur les cotés des plaques d'essai pour les relier ensemble:



Et voilà! On peut maintenant placer notre carte ESP32:



Les ports E/S peuvent être étendus sans difficulté.

Alimenter la carte ESP32

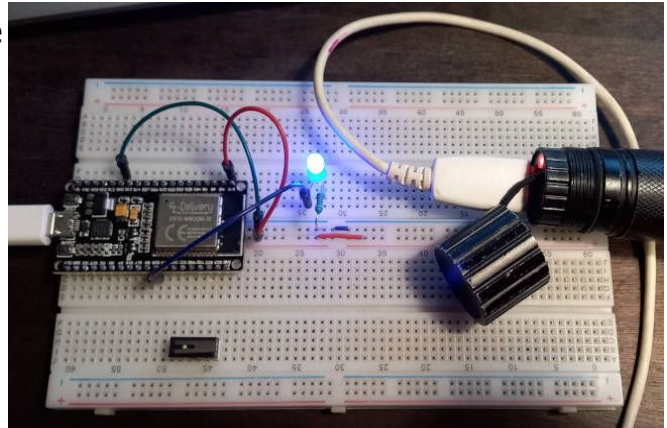
Choix de la source d'alimentation

Nous allons voir ici comment alimenter une carte ESP32. Le but est de donner des solutions pour exécuter les programmes FORTH compilés par ESP32forth.

Alimentation par le connecteur mini-USB

C'est la solution la plus simple. On remplace l'alimentation provenant du PC par une source différente:

- un bloc d'alimentation secteur comme ceux utilisés pour recharger un téléphone mobile;
- une batterie de secours pour téléphone mobile (power bank).



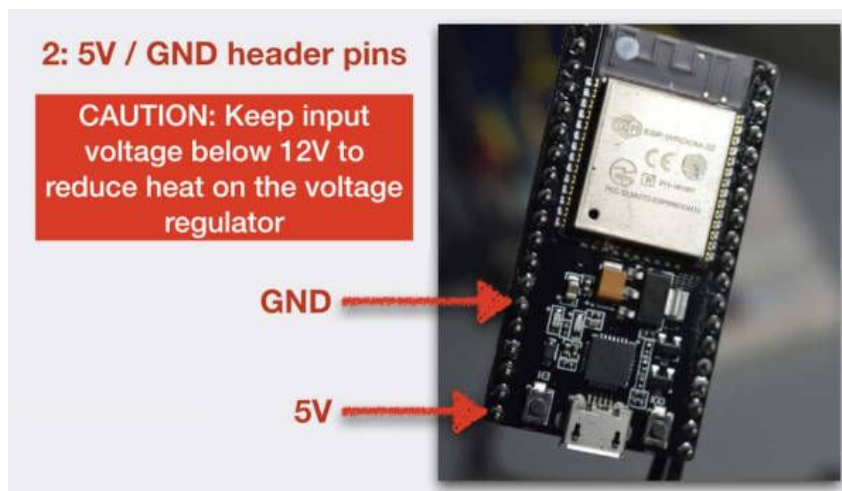
Ici, on alimente notre carte ESP32 avec une batterie de secours pour appareils mobiles.

Alimentation par le pin 5V

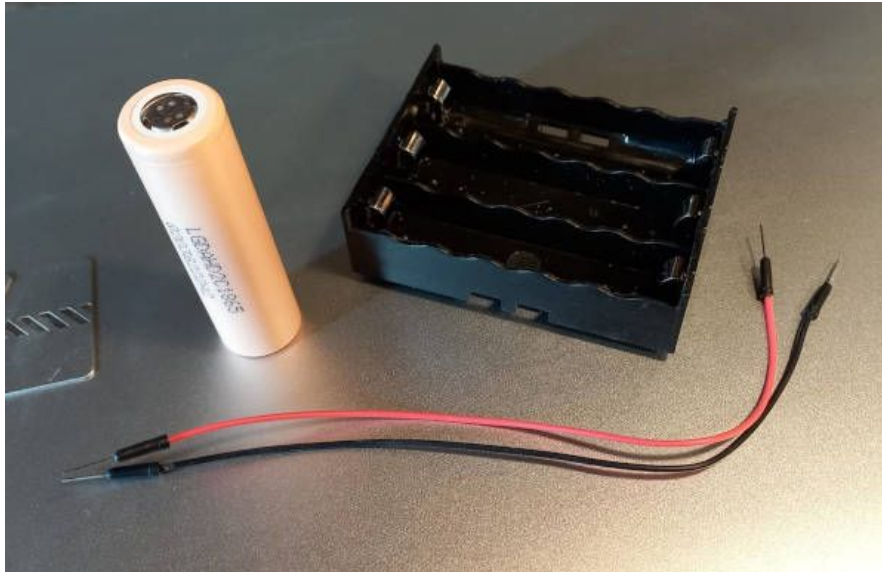
La deuxième option consiste à connecter une alimentation externe non régulée à la broche 5 V et à la masse. Tout ce qui se situe entre 5 et 12 volts devrait fonctionner.

Mais il est préférable de maintenir la tension d'entrée à environ 6 ou 7 Volts pour éviter de perdre trop de puissance sous forme de chaleur sur le régulateur de tension.

Voici les bornes permettant une alimentation externe 5-12V:



Pour exploiter l'alimentation 5V, il faut ce matériel:



- deux batteries lithium 3,7V
- un support batterie
- deux fils dupont

On soude une extrémité de chaque fil dupont aux bornes du support batteries. Ici, notre support accepte trois batteries. Nous n'exploiterons qu'un seul logement à batterie. Les batteries sont montées en série.

Une fois les fils dupont soudés, on installe la batterie et on vérifie que la polarité de sortie est bien respectée:



Maintenant, on peut alimenter notre carte ESP32 par le pin 5V.

ATTENTION: la tension batterie doit être entre 5 à 12 Volts.

Démarrage automatique d'un programme

Comment être certain que la carte ESP32 fonctionne bien une fois alimentée par nos batteries?

La solution la plus simple est d'installer un programme et de paramétrer ce programme pour qu'il démarre automatiquement à la mise sous tension de la carte ESP32. Compilez ce programme:

```
18 constant myLED

0 value LED_STATE

: led.on ( -- )
    HIGH dup myLED pin
    to LED_STATE
    ;

: led.off ( -- )
    LOW dup myLED pin
    to LED_STATE
    ;
timers also \ select timers vocabulary

: led.toggle ( -- )
    LED_STATE if
        led.off
    else
        led.on
    then
    0 rerun
    ;

: led.blink ( -- )
    myLED output pinMode
    ['] led.toggle 500000 0 interval
    led.toggle
    ;

startup: led.blink
bye
```

Installez une LED sur le pin G18.

Coupez l'alimentation et rebranchez la carte ESP32. Si tout s'est bien passé, la LED doit clignoter au bout de quelques secondes. C'est le signe que le programme s'exécute au démarrage de la carte ESP32.

Débranchez le port USB et branchez la batterie. La carte ESP32 doit démarrer et la LED clignoter.

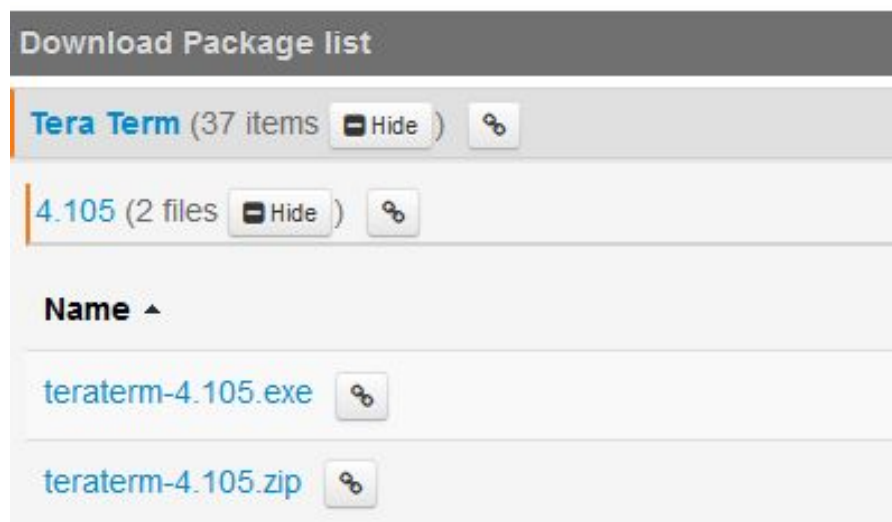
Tout le secret tient dans la séquence **startup: led.blink**. Cette séquence fige le code FORTH compilé par ESP32forth et désigne le mot **led.blink** comme mot à exécuter au démarrage de ESP32forth une fois la carte ESP32 sous tension.

Installer et utiliser le terminal Tera Term sous Windows

Installer Tera Term

La page en anglais pour Tera Term, c'est ici:

<https://ttssh2.osdn.jp/index.html.en>



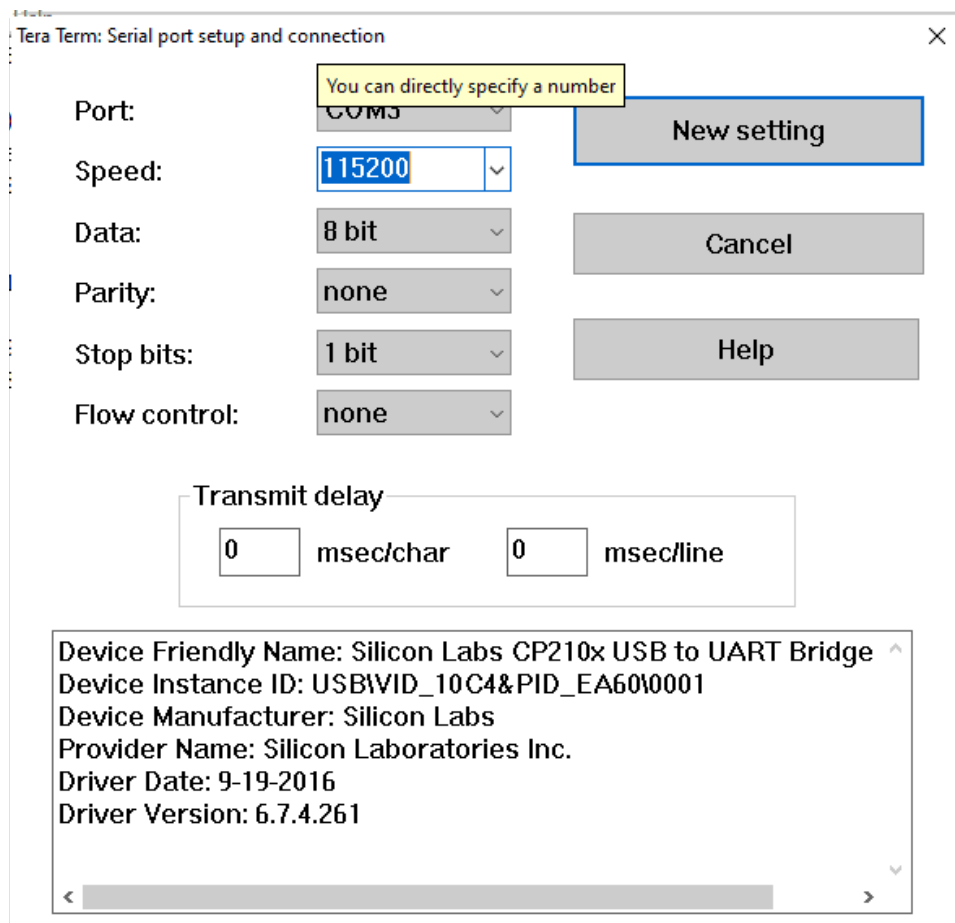
Allez sur la page téléchargement, récupérez le fichier exe ou zip:

Installez Tera Term. L'installation est simple et rapide.

Paramétrage de Tera Term

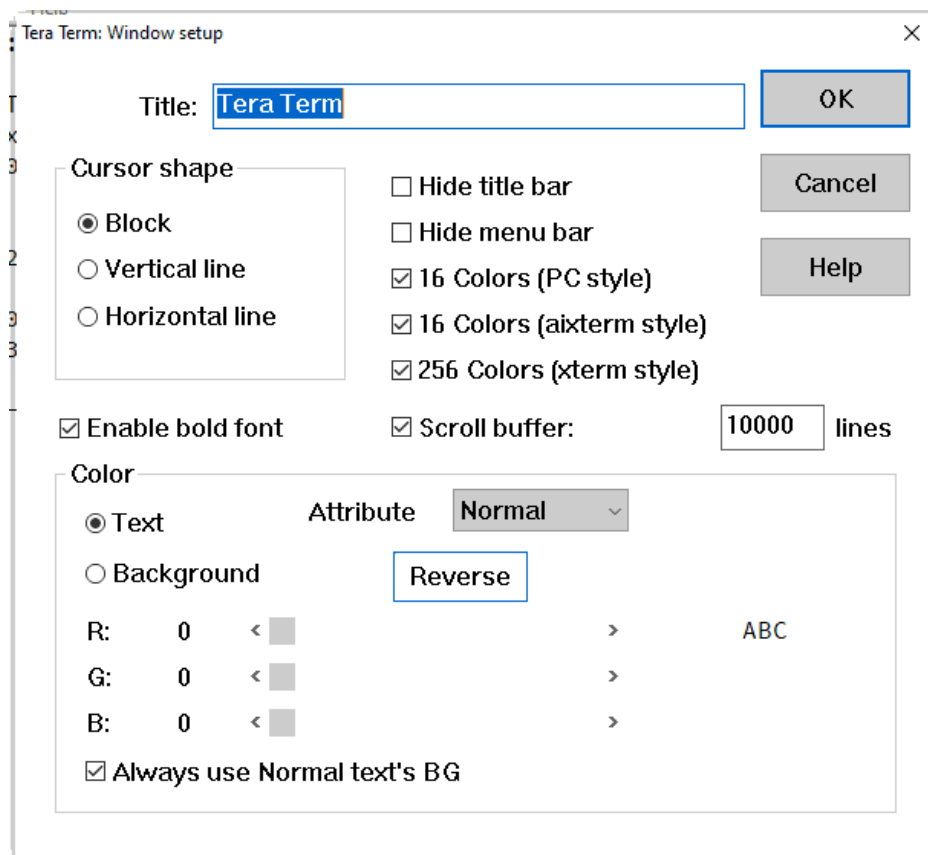
Pour communiquer avec la carte ESP32, il faut régler certains paramètres:

- cliquez sur Configuration -> port série

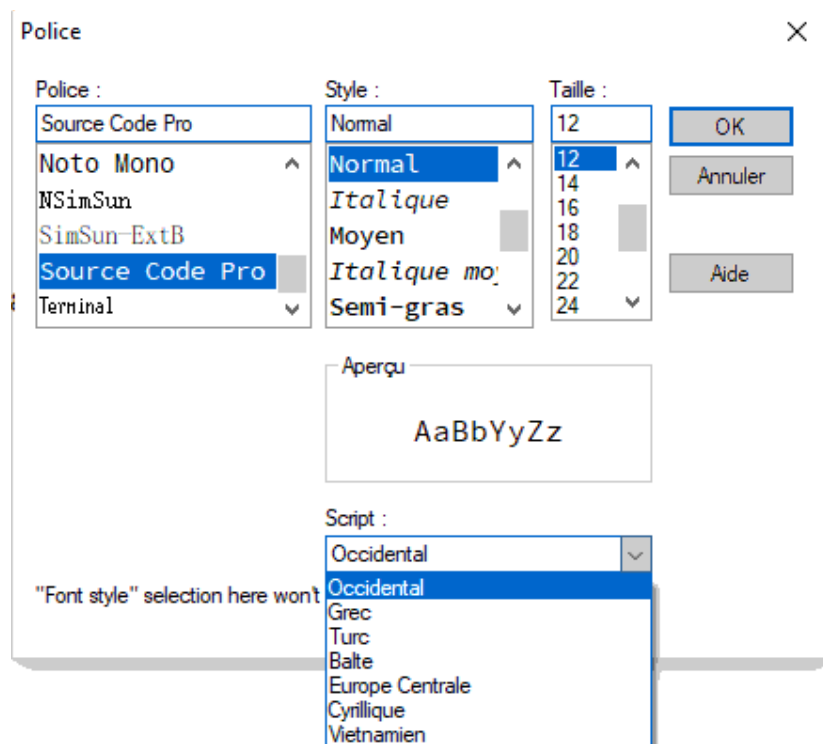


Pour un affichage confortable:

- cliquez sur Configuration -> fenêtre



Pour des caractères lisibles:



Pour retrouver tous ces réglages au prochain lancement du terminal Tera Term, sauvegardez la configuration:

- cliquez sur *Setup* -> *Save setup*
- acceptez le nom **TERATERM.INI**.

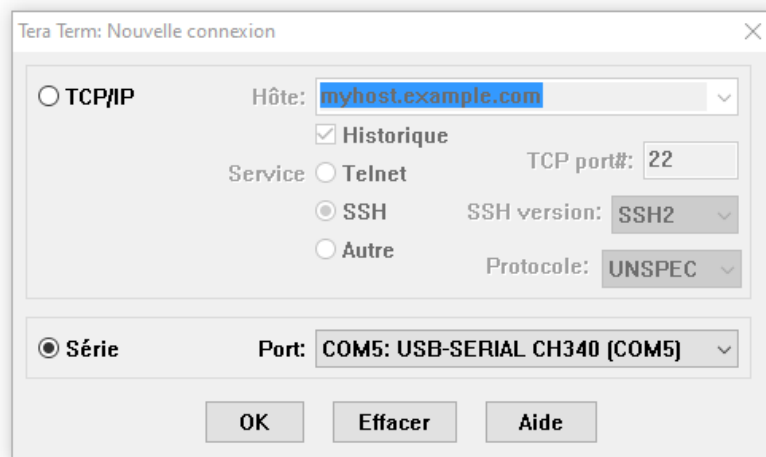
Utilisation de Tera Term

Une fois paramétré, fermez Tera Term.

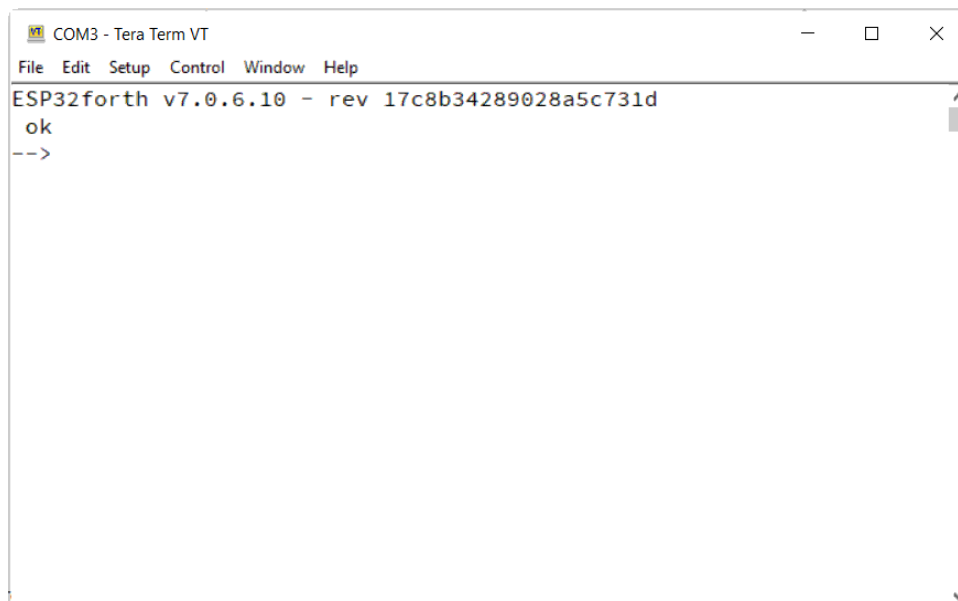
Connectez votre carte ESP32 à un port USB disponible de votre PC.

Relancez Tera Term, puis cliquez sur *fichier* -> *nouvelle connexion*

Sélectionnez le port série:



Si tout s'est bien passé, vous devez voir ceci:

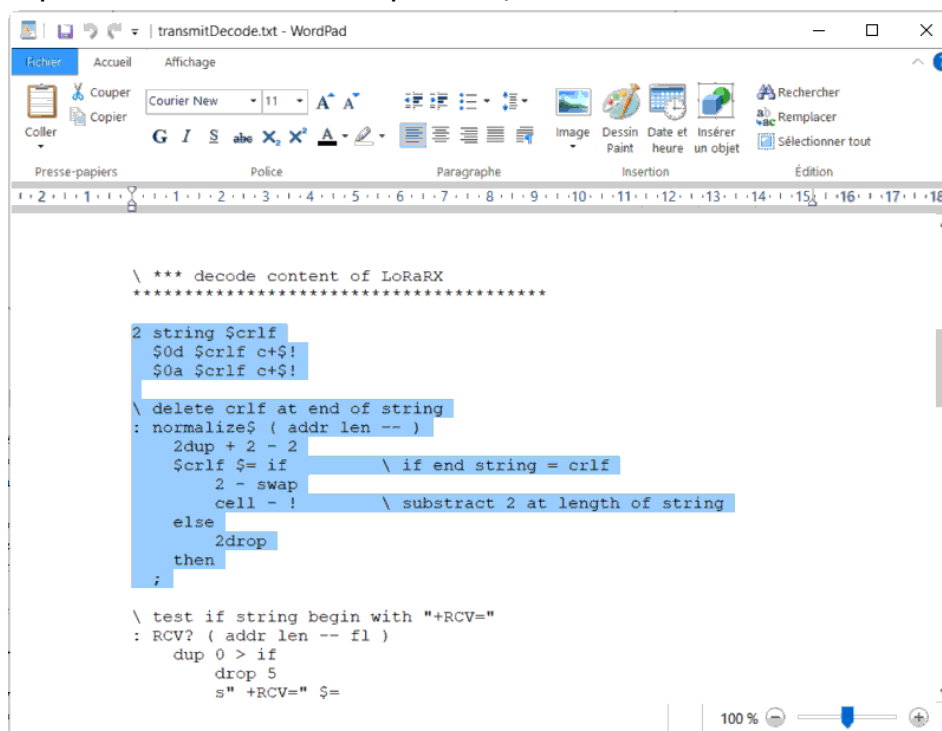


Compiler du code source en langage Forth

Tout d'abord, rappelons que le langage FORTH est sur la carte ESP32! FORTH n'est pas sur votre PC. Donc, on ne peut pas compiler le code source d'un programme en langage FORTH sur le PC.

Pour compiler un programme en langage FORTH, il faut au préalable ouvrir un fichier source sur le PC avec l'éditeur de votre choix.

Ensuite, on copie le code source à compiler. Ici, un code source ouvert avec Wordpad:



```
\ *** decode content of LoRaRX
*****

2 string $CrLf
  $0d $CrLf c+$!
  $0a $CrLf c+$!

\ delete crlf at end of string
: normalize$ ( addr len -- )
  2dup + 2 - 2
  $CrLf $= if \ if end string = crlf
    2 - swap
    cell - ! \ subtract 2 at length of string
  else
    2drop
  then
;

\ test if string begin with "+RCV="
: RCV? ( addr len -- f1 )
  dup 0 > if
    drop 5
    s" +RCV=" $=
```

Le code source en langage FORTH peut être composé et édité avec n'importe quel éditeur de texte: bloc notes, PSpad, Wordpad..

Personnellement j'utilise l'IDE Netbeans. Cet IDE permet d'éditer et gérer des codes sources dans de nombreux langages de programmation..

Sélectionnez le code source ou la portion de code qui vous intéresse. Puis cliquez sur copier. Le code sélectionné est dans le tampon d'édition du PC.

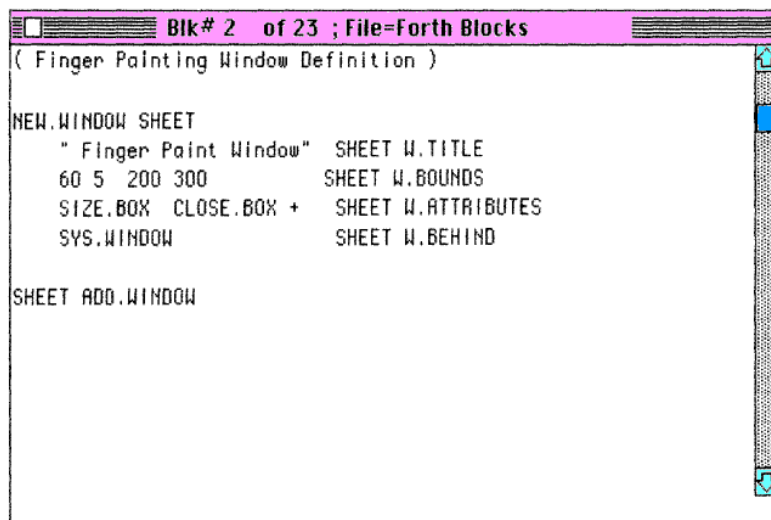
Cliquez sur la fenêtre du terminal Tera Term. Faites Coller:

Il suffit de valider en cliquant sur OK et le code sera interprété et/ou compilé.

Pour exécuter un code compilé, il suffit de taper le mot FORTH à lancer, ce depuis le terminal Tera Term.

Gestion des fichiers sources par blocs

Les blocs



Ici un bloc sur un ancien ordinateur:

Un bloc est un espace de stockage dont l'unité a comme dimensions 16 lignes de 64 caractères. La taille d'un bloc est donc de $16 \times 64 = 1024$ octets. C'est très exactement la taille d'un Kilo-octet!

Ouvrir un fichier de blocs

Un fichier est déjà ouvert par défaut au démarrage de ESP32forth.

C'est le fichier **blocks.fb**.

En cas de doute, exécutez **default-use**.

Pour savoir ce qu'il y a dans ce fichier, utilisez les commandes de l'éditeur en tapant d'abord **editor**.

Voici nos premières commandes à connaître pour gérer le contenu des blocs:

- **l** liste le contenu du bloc courant
- **n** sélectionne le bloc suivant
- **p** sélectionne le bloc précédent

ATTENTION: un bloc a toujours un numéro compris entre 0 et n. Si vous vous retrouvez avec un numéro de bloc négatif, cela génère une erreur.

Editer le contenu d'un bloc

Maintenant que nous savons sélectionner un bloc en particulier, voyons comment y insérer du code source en langage FORTH...

Une stratégie consiste à créer un fichier source sur votre ordinateur à l'aide d'un éditeur de texte. Il suffira ensuite d'effectuer un copié/collé par ligne de votre code source vers les fichiers de blocs.

Voici les commandes essentielles pour gérer le contenu d'un bloc:

- **wipe** vide le contenu du bloc courant
- **d** efface la ligne n. Le numéro de ligne doit être dans l'intervalle 0..14. Les lignes qui suivent remontent vers le haut. Exemple: 3 D efface le contenu de la ligne 3 et fait remonter le contenu des lignes 4 à 15.
- **e** efface le contenu de la ligne n. Le numéro de ligne doit être dans l'intervalle 0..15. Les autres lignes ne remontent pas.
- **a** insère une ligne n. Le numéro de ligne doit être dans l'intervalle 0..14. Les lignes situées après la ligne insérées redescendent. Exemple: 3 A test insère test à la ligne 3 et fait descendre le contenu des lignes 4 à 15.
- **r** remplace le contenu de la ligne n. Exemple: 3 R test remplace le contenu de la ligne 3 par test

```
Block 0
| 0
create sintab \ 0...90 Grad, Index in Grad          | 1
0000 , 0175 , 0349 , 0523 , 0698 ,                  | 2
0872 , 1045 , 1219 , 1392 , 1564 ,                  | 3
1736 , 1908 , 2079 , 2250 , 2419 ,                  | 4
2588 , 2756 , 2924 , 3090 , 3256 ,                  | 5
3420 , 3584 , 3746 , 3907 , 4067 ,                  | 6
4226 , 4384 , 4540 , 4695 , 4848 ,                  | 7
5000 , 5150 , 5299 , 5446 , 5592 ,                  | 8
5736 , 5878 , 6018 , 6157 , 6293 ,                  | 9
| 10
| 11
| 12
| 13
| 14
| 15
ok
--> 10 R 6428 , 6561 , 6691 , 6820 , 6947 ,
CTRL-A Z for help | 115200 8N1 | NOR | Minicom 2.7.1 | VT102 | Déconr
```

Voici notre bloc 0 en cours d'édition:

En bas d'écran, la ligne **10 R 6428 , 6561 ,** est en cours d'intégration dans notre bloc à la ligne 10.

Vous remarquez que la ligne 0 n'a pas de contenu. Ceci génère une erreur à la compilation du code FORTH. Pour y remédier, on tape simplement **0 R** suivi de deux espaces.

Avec un peu d'entraînement, en quelques minutes, vous aurez inséré votre code FORTH dans ce bloc.

Procédez de même pour les blocs suivants si nécessaires. Au moment de passer au bloc suivant, vous forcez la sauvegarde du contenu des blocs en tapant **flush**.

Compilation du contenu des blocs

Avant de compiler le contenu d'un fichier de blocs, nous allons vérifier que leur contenu est bien sauvegardé. Pour cela:

- tapez **flush**, puis débranchez la carte ESP32;
- attendez quelques secondes et rebranchez la carte ESP32;
- tapez **editor** et **1**. Vous devez retrouver votre bloc 0 avec le contenu que vous avez édité.

Pour compiler le contenu de vos blocs, vous disposez de deux mots:

- **load** précédé du numéro du bloc dont on veut exécuter et/ou compiler le contenu. Pour compiler le contenu de notre bloc 0, on exécutera **0 load**;
- **thru** précédé de deux numéros de blocs va exécuter et/ou compiler le contenu des blocs comme si on exécute une succession de mots **load**. Exemple: **0 2 thru** exécute et/ou compile le contenu des blocs 0 à 2.

La vitesse d'exécution et/ou de compilation du contenu des blocs est quasi instantanée.

Exemple pratique pas à pas

Nous allons voir, avec un exemple pratique, comment insérer un code source dans le bloc 1. On reprend un code prêt à être intégré dans notre bloc:

```
1 list
editor
0 r \ tools for REGISTERS definitions and manipulations
1 r : mclr { mask addr -- }    addr @ mask invert and addr ! ;
2 r : mset { mask addr -- }    addr @ mask or addr ! ;
3 r : mtst { mask addr -- x }  addr @ mask and ;
4 r : defREG: \ define a register, similar as constant
5 r      create ( addr1 -- <name> ) ,
6 r      does> ( -- regAddr )    @ ;
7 r : .reg ( reg -- ) \ display reg content
8 r      base @ >r binary @ <#
9 r      4 for aft 8 for aft # then next
10 r      bl hold then next #>
11 r      cr space ." 33222222 22221111 11111100 00000000"
12 r      cr space ." 10987654 32109876 54321098 76543210"
```

```
13 r      cr type  r> base !  ;
14 r : defMASK:  create ( mask0 position -- )    lshift ,
15 r      does> ( -- mask1 )                @  ;
save-buffers
```

Procédez simplement par des copié/collé partiels du code ci-dessus et exécutez ce code par ESP32 Forth:

- **1 list** pour sélectionner et voir ce que contient le bloc 1
- **editor** pour sélectionner le vocabulaire **editor**
- copiez les lignes **n r....** par paquets de trois et faites-les exécuter
- **save-buffers** sauvegarde en dur le code dans le fichier de bloc

Eteignez la carte ESP32. Redémarrez-là. Si vous tapez **1 list** vous devez voir le code édité et sauvegardé.

Pour compiler ce code, tapez simplement **1 load**.

Conclusion

L'espace de fichiers disponible pour ESP32forth est proche de 1,8Mo. Vous pouvez donc gérer sans souci des centaines de blocs pour les fichiers sources en langage FORTH. Il est conseillé d'installer des codes sources de parties de codes stables. Ainsi, lors de la phase de mise au point de programmes, il sera bien plus aisé d'intégrer à votre code en phase de mise au point:

```
2 5 thru \ integrate pwm commands for motors
```

au lieu de recharger systématiquement ce code par ligne série ou WiFi.

L'autre intérêt des blocs est de permettre l'embarquement in situ de paramètres, tables de données, etc... utilisables ensuite par vos programmes.

Edition des fichiers sources avec VISUAL Editor

Editer un fichier source FORTH

Pour éditer un fichier source FORTH avec ESP32forth, on va utiliser l'éditeur visual.

Pour éditer un fichier **dump.fs**, procéder comme ceci depuis le terminal connecté à une carte ESP32 contenant ESP32forth:

```
visual edit /spiffs/dump.fs
```

Le code complet de **DUMP** est disponible ici:

<https://github.com/MPETREMAN11/ESP32forth/blob/main/tools/dumpTool.txt>

Le mot **edit** est suivi du répertoire de stockage des fichiers source:

- si le fichier n'existe pas, il est créé;
- si le fichier existe, il est récupéré dans l'éditeur.

Notez bien le nom du fichier que vous avez créé.

Choisissez comme extension de fichier **fs**, pour **F**orth **S**ource.

Edition du code FORTH

Dans l'éditeur, déplacez le curseur avec les flèches gauche-droite-haut-bas disponible au clavier.



Le terminal rafraîchit l'affichage à chaque déplacement du curseur ou modification du code source.

Pour quitter l'éditeur:

- CTRL-S: enregistre le contenu du fichier en cours d'édition
- CTRL-X: quitte l'édition:
 - N: sans enregistrement des modifications du fichier
 - Y: avec enregistrement des modifications

Compilation du contenu des fichiers

La compilation du contenu de notre fichier **dump.fs** s'exécute ainsi:

```
include /spiffs/dump.fs
```

La compilation est beaucoup plus rapide que par l'intermédiaire du terminal.

Les fichiers sources embarqués dans la carte ESP32 avec ESP32forth sont persistants.

Après mise hors tension et rebranchement de la carte ESP32, le fichier sauvegardé reste disponible immédiatement.

On peut définir autant de fichiers que nécessaire.

Il est donc facile d'intégrer dans la carte ESP32 une collection d'outils et de routines dans lesquelles on viendra piocher selon besoins.

Le système de fichiers SPIFFS

ESP32Forth contient un système rudimentaire de fichiers sur mémoire Flash interne. Les fichiers sont accessibles via une interface série dénommée SPIFFS pour Serial Peripheral Interface Flash File System.

Même si le système de fichiers SPIFFS est simple, il permet d'accroître considérablement la souplesse de vos développements avec ESP32Forth:

- gérer des fichiers de configuration
- intégrer des extensions logicielles accessibles sur demande
- modulariser les développements en modules fonctionnels réutilisables

Et bien d'autres usages que nous vous laisserons découvrir...

Accès au système de fichiers SPIFFS

Pour compiler le contenu d'un fichier source édité par visual edit, taper:

```
include /spiffs/dumpTool.fs
```

Le mot **include** doit toujours être utilisé depuis le terminal.

Pour voir la liste des fichiers SPIFFS, utilisez le mot **ls**:

```
ls /spiffs/  
\ affiche:  
\ dumpTool.fs
```

Ici, c'est le fichier **dumpTool.fs** qui a été sauvegardé. Pour SPIFFS, les extensions de fichier n'ont aucune importance. Les noms de fichiers ne doivent pas contenir de caractère espace, ni le caractère /.

Editons et sauvegardons un nouveau fichier **myApp.fs** avec **visual editor**.

Réexécutons **ls**:

```
ls /spiffs/  
\ display:  
\ dumpTool.fs  
\ myApp.fs
```

Le système de fichiers SPIFFS ne gère pas les sous-dossiers comme sur un ordinateur sous Linux. Pour créer un pseudo répertoire, il suffit de l'indiquer au moment de créer un nouveau fichier. Par exemple, éditons le fichier **other/myTest.fs**. Une fois édité et sauvegardé, exécutons **ls**:

```
ls /spiffs/
```

```
\ affiche:
\ dumpTool.fs
\ myApp.fs
\ other/myTest.fs
```

Si on veut visualiser seulement les fichiers de ce pseudo répertoire **other**, il faut faire suivre **/spiffs/** du nom de ce pseudo répertoire:

```
ls /spiffs/other
\ affiche:
\ myTest.fs
```

Il n'y a pas d'option de filtrage des noms de fichiers ou de pseudo-répertoires.

Manipulation des fichiers

Pour effacer intégralement un fichier, utiliser le mot **rm** suivi du nom de fichier à supprimer:

```
rm /spiffs/other/myTest.fs
ls /spiffs/
\ affiche:
\ dumpTool.fs
\ myApp.fs
```

Pour renommer un fichier, utilisez le mot **mv**:

```
mv /spiffs/myApp.fs /spiffs/main.fs
ls /spiffs/
\ affiche:
\ dumpTool.fs
\ main.fs
```

Pour copier un fichier, utilisez le mot **cp**:

```
cp /spiffs/main.fs /spiffs/mainTest.fs
ls /spiffs/
\ affiche:
\ dumpTool.fs
\ main.fs
\ mainTest.fs
```

Pour voir le contenu d'un fichier, utilisez le mot **cat**:

```
cat /spiffs/dumpTool.fs
\ affiche contenu de dumpTool.fs
```

Pour enregistrer le contenu d'une chaîne dans un fichier, agir en deux phases:

- créer un nouveau fichier avec **touch**

- enregistrer le contenu de la chaîne avec **dump-file**

```
touch /spiffs/mTest,fs \ crée nouveau fichier mtest,fs
ls /spiffs/           \ affiche:
\ dumpTool.fs
\ main.fs
\ mainTest.fs
\ mTests

\ enregistre chaîne "Insère mon texte dans mTest" dans mTest
r| ." Insère mon texte dans mTest" | s" /spiffs/mTest" dump-file

include /spiffs/mTest \ affiche: Insert my text in mTest
```

Organiser et compiler ses fichiers sur la carte ESP32

Nous allons voir comment gérer des fichiers pour une application en cours de mise au point sur une carte ESP32 avec ESP32forth installé dessus.

Il est convenu que tous les fichiers utilisés sont au format texte ASCII.

Les explications qui suivent ne sont données qu'à titre de conseils. Ils sont issus d'une certaine expérience et ont pour but de faciliter le développement de grosses applications avec ESP32forth.

Edition et transmission des fichiers source

Tous les fichiers sources de votre projet sont sur votre ordinateur. Il est conseillé d'avoir un sous-dossier dédié à ce projet. Par exemple, vous travaillez sur un afficheur OLED SSD1306. Vous créez donc un répertoire nommé SSD1306.

Concernant les extensions des noms de fichiers, nous conseillons d'utiliser l'extension **fs**.

L'édition des fichiers sur ordinateur est réalisée avec n'importe quel éditeur de fichiers texte.

Dans ces fichiers sources, ne pas utiliser de caractère non inclus dans les caractères du code ASCII. Certains codes étendus peuvent perturber la compilation des programmes.

Ces fichiers sources seront ensuite copiés ou transférés sur la carte ESP32 via la liaison série et un programme de type terminal:

- par copié/collé en utilisant visual sur ESP32forth, à réserver pour les fichiers de petite taille;
- avec une procédure particulière qui sera détaillée plus loin pour les fichiers importants.

Organiser ses fichiers

Dans la suite, tous nos fichiers auront l'extension **fs**.

Partons de notre répertoire SSD1306 sur notre ordinateur.

Le premier fichier que nous allons créer dans ce répertoire sera le fichier **main.fs**. Ce fichier contiendra les appels à chargement de tous les autres fichiers de notre application en cours de développement.

Exemple de contenu de notre fichier **main.fs**:

```
\ OLED SSD1306 128x32 dev et tests affichage
s" /SPIFFS/config.fs" included
```

En phase de développement, le contenu de ce fichier **main.fs** sera chargé manuellement en exécutant **include** comme ceci:

```
include /spiffs/main.fs
```

Ceci provoque l'exécution du contenu de notre fichier **main.fs**. Le chargement des autres fichiers sera exécuté depuis ce fichier **main.fs**. Ici on exécute le chargement du fichier **config.fs** dont voici un extrait:

```
\
*****
*
\ Configuration pour affichage OLED SSD1306 128x32
\
*****
*

\ pour SSD1306_128_32
  128 constant SSD1306_LCDWIDTH
  32 constant SSD1306_LCDHEIGHT
```

Dans ce fichier **config.fs** on mettra toutes les valeurs constantes et divers paramètres utilisés par les autres fichiers.

Notre prochain fichier sera **SSD10306commands.fs**. Voici comment charger son contenu depuis main.fs:

```
\ OLED SSD1306 128x32 dev et tests affichage
s" /spiffs/config.fs" included
s" /spiffs/SSD10306commands.fs" included
```

Le contenu du fichier **SSD10306commands.fs** fait près de 230 lignes de code. Il est exclu de copier ligne à ligne dans l'éditeur visual de ESP32forth le contenu de ce fichier. voici une méthode pour copier et enregistrer sur ESP32forth en une seule fois le contenu de ce gros fichier.

Transférer un gros fichier vers ESP32forth

Pour permettre cette transmission de gros fichier, compilez ce code dans ESP32forth:

```
: noType
  2drop ;

visual
: xEdit
  ['] noType is type
  edit
  ['] default-type is type
;
```

Ce code Forth très court permet de transférer un programme FORTH très long depuis l'éditeur sur PC vers un fichier dans la carte ESP32 :

- compiler avec ESP32forth, le code FORTH, ici les mots noType et xEdit
- ouvrir sur votre PC le programme à transférer dans un fichier sur la carte ESP32
- ajoutez en haut du programme la ligne permettant ce transfert rapide **xEdit** **/spiffs/SSD10306commands.fs**
- copier tout le code de votre programme édité sur votre PC,
- passer dans le terminal connecté à ESP32forth
- copiez votre code

Si tout se passe bien, rien ne devrait apparaître sur l'écran du terminal. Attendez quelques secondes.

Ensuite, tapez : CTRL-X, puis appuyez sur "Y"

Vous devriez reprendre le contrôle.

Vérifiez la présence de votre nouveau fichier : **ls /spiffs/**

Vous pouvez maintenant compiler le contenu de votre nouveau fichier.

Conclusion

Les fichiers enregistrés dans le système de fichiers SPIFFS de ESP32forth sont disponibles de manière permanente.

Si vous mettez la carte ESP32 hors service, puis la rebranchez, les fichiers seront disponibles immédiatement.

Le contenu des fichiers est modifiable in situ avec **visual edit**.

Cette commodité rendra les développements beaucoup plus rapides et faciles.

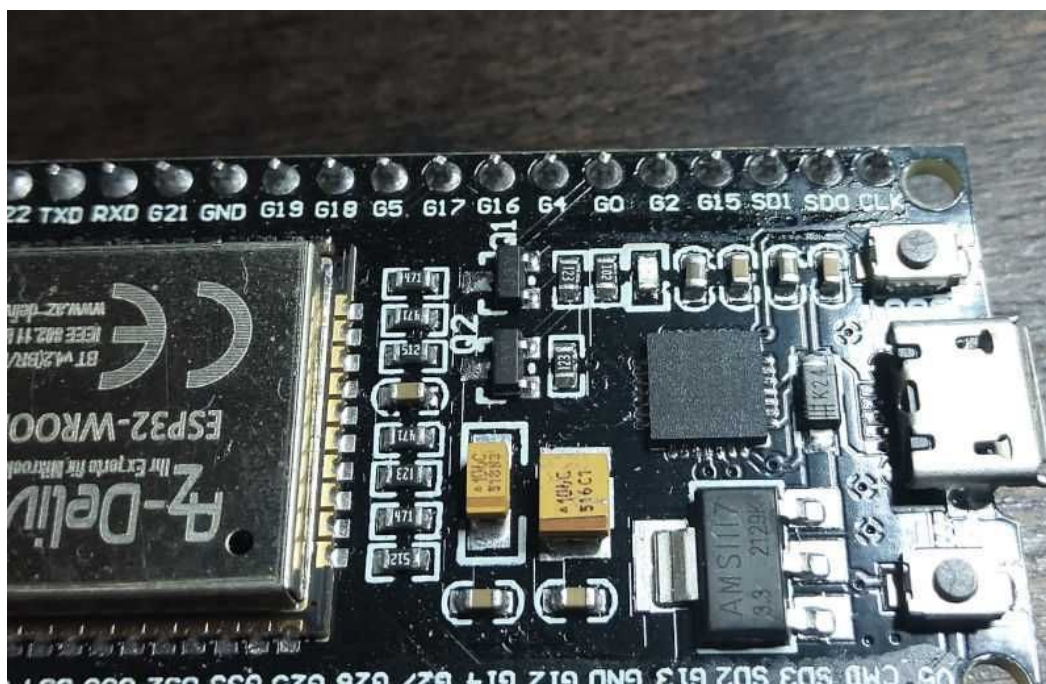
Gérer un feu tricolore avec ESP32

Les ports GPIO sur la carte ESP32

Les ports GPIO (anglais : General Purpose Input/Output, littéralement Entrée-sortie à usage général) sont des ports d'entrées-sorties très utilisés dans le monde des microcontrôleurs

La puce ESP32 est livrée avec 48 broches ayant multiples fonctions. Toutes les broches ne sont pas exploitées sur les cartes de développement ESP32, et certaines broches ne peuvent pas être utilisées.

Il y a de nombreuses questions sur la façon d'utiliser les GPIO ESP32. Quels connecteurs devriez-vous utiliser? Quels connecteurs devriez-vous éviter d'utiliser dans vos projets?



Si on regarde à la loupe une carte ESP32, on voit ceci:

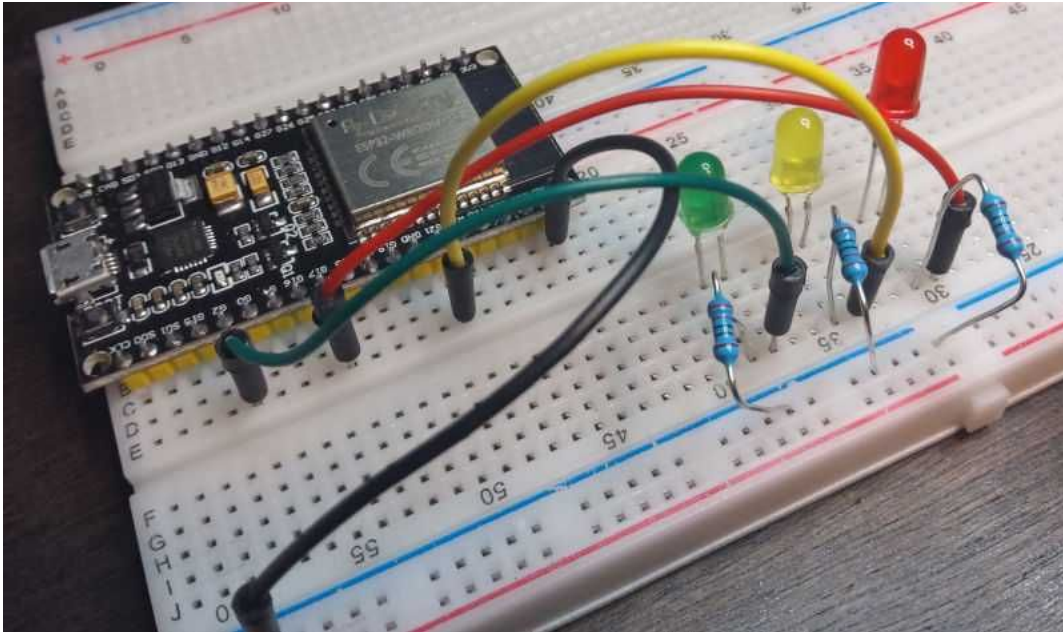
Chaque connecteur est identifié par une série de lettres et chiffres, ici de gauche à droite sur notre photo: G22 TXD RXD G21 GND G19 G18, etc...

Les connecteurs qui nous intéressent pour cette prise en main sont préfixés par la lettre G suivis de un ou deux chiffres. Par exemple, G2 correspond à GPIO 2.

La définition et l'exploitation en mode sortie d'un connecteur GPIO est assez simple.

Montage des LEDs

Le montage est assez simple et une seule photo suffit:



- LED verte connectée à G2 - fil vert
- LED jaune connectée à G21 - fil jaune
- LED rouge connectée à G17 - fil rouge
- fil noir connecté à GND

Notre code utilise le mot **include** suivi du fichier à charger.

On définit nos LEDs avec **defPin:**

```
DEFINED? defPIN: invert
  [if] include /spiffs/defpin.txt [then]
\ Use:
\ numGPIO defPIN: PD7  ( define portD pin #7)

2 defPIN: ledGREEN
21 defPIN: ledYELLOW
17 defPIN: ledRED

: LEDinit
  ledGREEN    output pinMode
  ledYELLOW   output pinMode
  ledRED      output pinMode
;
```

Beaucoup de programmeurs ont la mauvaise habitude de nommer les connecteurs par leur numéro. Exemple :

```
17 defPin: pin17
```

ou

```
17 defPin: GPIO17.
```

Pour être efficace, il faut nommer les connecteurs par leur fonction. Ici on définit les connecteurs **ledRED** ou **ledGREEN**.

Pourquoi? Parce que le jour où vous avez besoin de rajouter des accessoires et libérer par exemple le connecteur G21, il suffit de redéfinir **21 defPIN: ledYELLOW** avec le nouveau numéro de connecteur. Le reste du code sera inchangé et exploitable.

Gestion des feux tricolores

Voici la partie de code qui contrôle nos LEDs dans notre simulation de feu tricolore :

```
\ trafficLights execute one light cycle
: trafficLights ( ---)
    high ledGREEN    pin    3000 ms    low ledGREEN    pin
    high ledYELLOW   pin    800 ms    low ledYELLOW   pin
    high ledRED      pin    3000 ms    low ledRED      pin
    ;

\ classic traffic lights loop
: lightsLoop ( ---)
    LEDinit
    begin
        trafficLights
    key? until
    ;

\ german traffic light style
: Dtraffic ( ---)
    high ledGREEN    pin    3000 ms    low ledGREEN    pin
    high ledYELLOW   pin    800 ms    low ledYELLOW   pin
    high ledRED      pin    3000 ms
    ledYELLOW high    800 ms
    \ simultaneous red and yellow ON
    high ledRED      pin \ simultaneous red and yellow OFF
    high ledYELLOW   pin
    ;

\ german traffic lights loop
: DlightsLoop ( ---)
```

```
LEDinit
begin
    Dtraffic
key? until
;
```

Conclusion

Ce programme de gestion de feux tricolores aurait parfaitement pu être écrit en langage C. Mais l'avantage du langage FORTH, c'est qu'il donne la main, via le terminal, pour analyser, déboguer et modifier très rapidement des fonctions (en FORTH on dit des mots).

La gestion de feux tricolores est un exercice facile en langage C. Mais quand les programmes deviennent un peu plus complexes, le processus de compilation et téléversement s'avère rapidement fastidieux.

Il suffit d'agir via le terminal et de faire un simple copié/collé de n'importe quel fragment de code en langage FORTH pour qu'il soit compilé et/ou exécuté.

Si vous utilisez un programme terminal pour communiquer avec la carte ESP32, tapez simplement **DlightsLoop** ou **lightsLoop** pour tester le fonctionnement du programme. Ces mots utilisent une boucle conditionnelle. Il suffit de taper sur une touche du clavier pour que le mot cesse de s'exécuter en fin de boucle.

Utilisation de l'encodeur rotatif KY-040

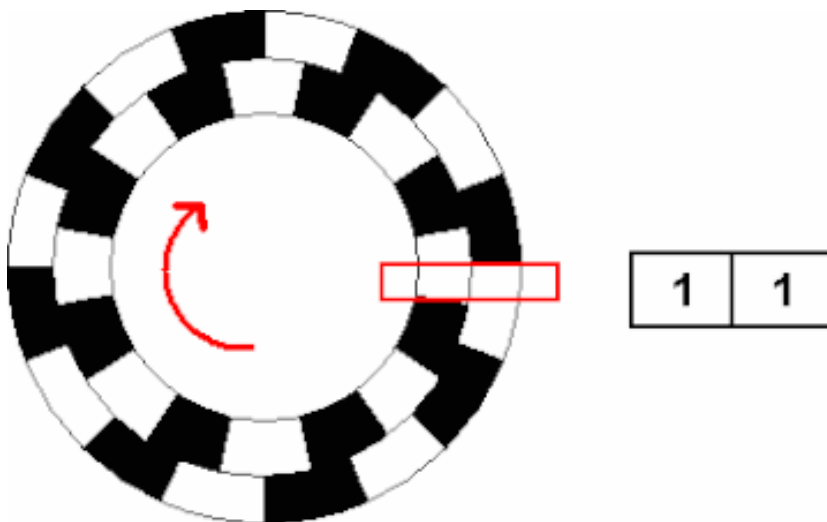
Présentation de l'encodeur

Pour faire varier un signal, nous disposons de plusieurs solutions:

- une résistance variable dans un potentiomètre
- deux boutons gérant par logiciel la variation
- un encodeur rotatif

L'encodeur rotatif est une solution intéressante. On peut le faire agir comme un potentiomètre, avec l'avantage de ne pas avoir de butée de début et fin de course.

Son principe est très simple. Voici les signaux émis par notre encodeur rotatif:



Voici notre encodeur:

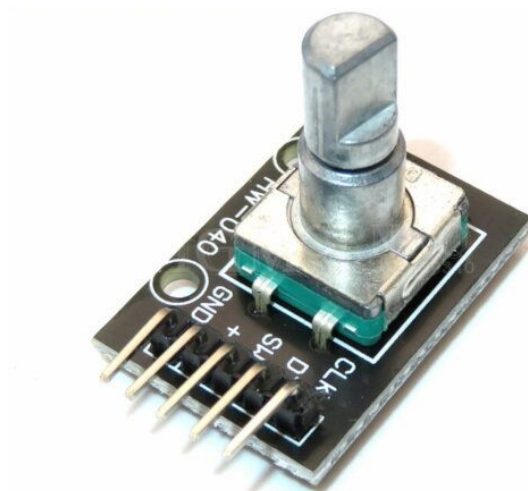
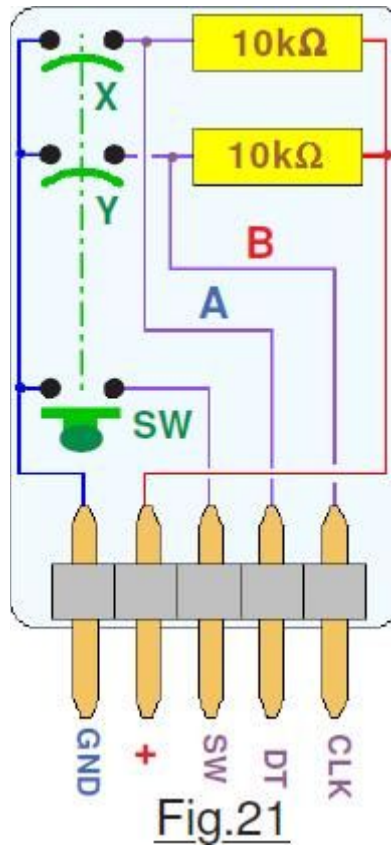


Schéma du fonctionnement interne:



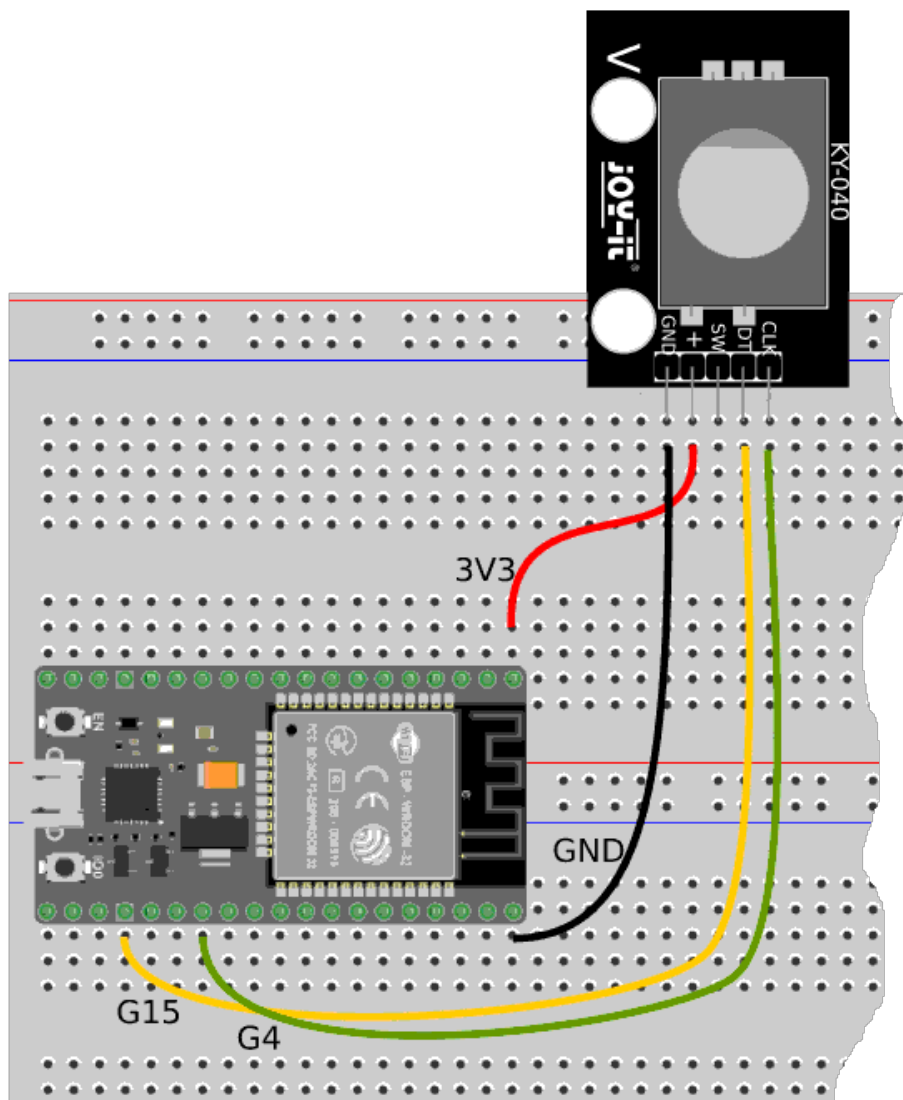
Selon ce schéma, deux bornes nous intéressent:

- A (DT) -> switch X
- B (CLK) -> switch Y

Cet encodeur peut être alimenté en 5V ou 3,3V. Ça nous arrange, car la carte ESP32 dispose d'une sortie 3,3V.

Montage de l'encodeur sur la plaque d'essai

Le câblage de notre encodeur à la carte ESP32 ne nécessite que 4 fils:

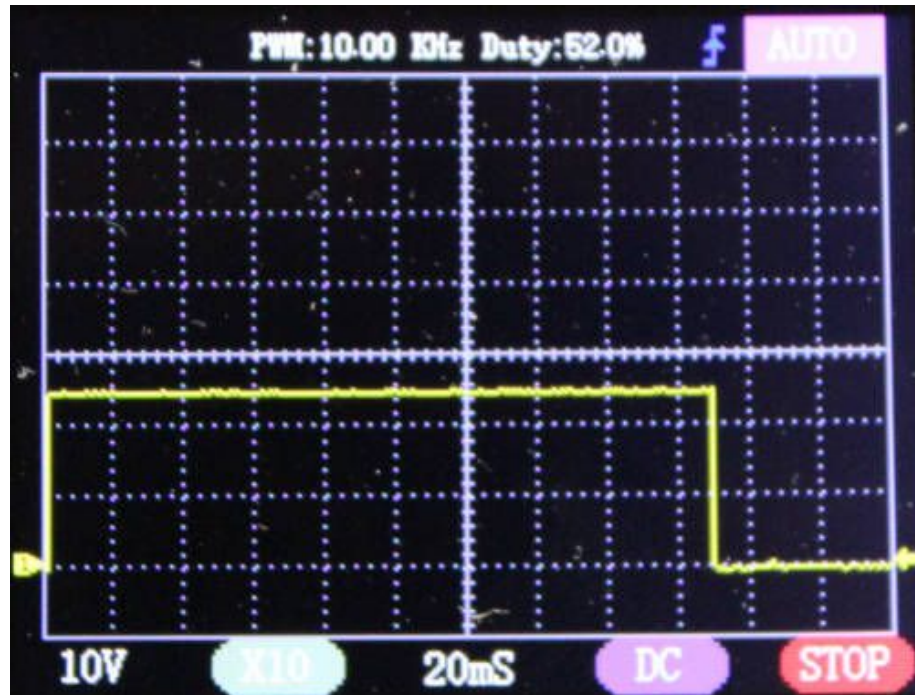


ATTENTION: la position des pins G4 et G15 peut varier selon la version de votre carte ESP32.

Analyse des signaux de l'encodeur

Tel que notre encodeur est connecté, chaque borne A ou B reçoit une tension, ici 3,3V, dont l'intensité est limitée par une résistance de 10Kohms.

L'analyse du signal sur la borne G15 montre bien une présence de la tension 3,3V:



Sur cette capture de signal, le niveau bas sur la borne G15 apparaît quand on manoeuvre la tige de commande de l'encodeur. Au repos, le signal sur la borne G15 est au niveau haut.

Ceci change tout, car, au niveau programmation, on doit traiter l'interruption de G15 en front descendant.

Programmation de l'encodeur

L'encodeur sera géré par interruption. Les interruptions déclenchent le programme seulement si un signal particulier atteint un niveau bien défini.

Nous allons gérer une seule interruption sur la borne GPIO G15:

```
interrupts

\ enable interrupt on GPIO G15
: intG15enable ( -- )
  15 GPIO_INTR_POSEDGE gpio_set_intr_type drop
  ;

\ disable interrupt on GPIO G15
: intG15disable ( -- )
  15 GPIO_INTR_DISABLE gpio_set_intr_type drop
  ;
```

```

: pinsInit ( -- )
  04 input pinmode          \ G04 as an input
  04 gpio_pulldown_en drop  \ Enable pull-down on GPIO 04
  15 input pinmode          \ G15 as an input
  15 gpio_pulldown_en drop  \ Enable pull-down on GPIO 15
  intG15enable
;

```

Dans le mot **pinsInit**, on initialise les pins GPIO G4 et G15 en entrée. Puis on détermine le mode d'interruption de G15 sur front descendant avec **15 GPIO_INTR_POSEDGE gpio_set_intr_type drop**.

Test de l'encodage

Cette partie de code n'est pas à exploiter dans un montage définitif. Elle sert seulement à vérifier que l'encodeur est correctement branché et fonctionne bien:

```

: test ( -- )
  cr ." PIN: "
  cr ." - G15: " 15 digitalRead .
  cr ." - G04: " 04 digitalRead .
;

pinsInit    \ initialise G4 and G15
' test 15 pinchange

```

C'est la séquence **' test 15 pinchange** qui indique à ESP32Forth d'exécuter le code de test si une interruption se déclenche sur action de la borne G15.

Résultat de l'action sur notre encodeur. Nous n'avons conservé que les résultats d'actions arrivant en butée, une fois dans le sens horaire inverse, puis dans le sens horaire:

```

PIN:
- G15: 1 \ reverse clockwise turn
- G04: 1
PIN:
- G15: 0 \ clockwise turn
- G04: 1

```

Incrémenter et décrémenter une variable avec l'encodeur

Maintenant que nous avons testé l'encodeur par interruption matérielle, on va pouvoir gérer le contenu d'une variable. Pour ce faire, on définit notre variable **KYvar** et les mots permettant d'en modifier son contenu:

```

0 value KYvar    \ content is incremented or decremented

\ increment content of KYvar

```

```

: incKYvar ( n -- )
  1 +to KYvar
;

\ decrement content of KYvar
: decKYvar ( n -- )
  -1 +to KYvar
;

```

Le mot **incKYvar** incrémente le contenu de **KYvar**. Le mot **decKYvar** décrémente le contenu de **KYvar**.

On teste la modification du contenu de la variable **KYvar** via ce mot **testIncDec** défini ainsi:

```

\ used by interruption when G15 activated
: testIncDec ( -- )
  intG15disable
  15 digitalRead if
    04 digitalRead if
      decKYvar
    else
      incKYvar
    then
      cr ." KYvar: " KYvar .
  then
  1000 0 do loop \ small wait loop
  intG15enable
;

pinsInit
' testIncDec 15 pinchange

```

Tournez la commande de l'encodeur vers la droite (sens horaire) va incrémenter le contenu de la variable KYvar. Une rotation vers la gauche décrémente le contenu de la variable KYvar:

```

pinsInit
' testIncDec 15 pinchange
-->
KYvar: 1    \ rotate Clockwise
KYvar: 2
KYvar: 3
KYvar: 4
KYvar: 3    \ rotate Contra Clockwise

```

```
KYvar: 2  
KYvar: 1  
KYvar: 0  
KYvar: -1  
KYvar: -2
```

Listing complet: using the KY-040 Rotary Encoder @TODO : mettre listing complet en section listing

L'interface I2C sur ESP32

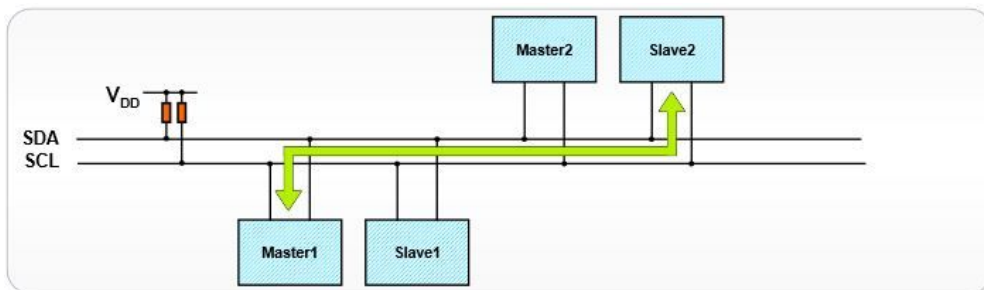
Introduction

I2C (signifie: Inter-Integrated Circuit, en anglais) est un bus informatique qui a émergé de la « guerre des standards » lancée par les acteurs du monde électronique. Conçu par Philips pour les applications de domotique et d'électronique domestique, il permet de relier facilement un microprocesseur et différents circuits, notamment ceux d'un téléviseur moderne : récepteur de la télécommande, réglages des amplificateurs basses fréquences, tuner, horloge, gestion de la prise péritel, etc.

Il existe d'innombrables périphériques exploitant ce bus, il est même implémentable par logiciel dans n'importe quel microcontrôleur. Le poids de l'industrie de l'électronique grand public a permis des prix très bas grâce à ces nombreux composants.

Ce bus porte parfois le nom de TWI (Two Wire Interface) ou TWSI (Two Wire Serial Interface) chez certains constructeurs.

Les échanges ont toujours lieu entre un seul maître et un (ou tous les) esclave(s), toujours à l'initiative du maître (jamais de maître à maître ou d'esclave à esclave). Cependant, rien n'empêche un composant de passer du statut de maître à esclave et réciproquement.



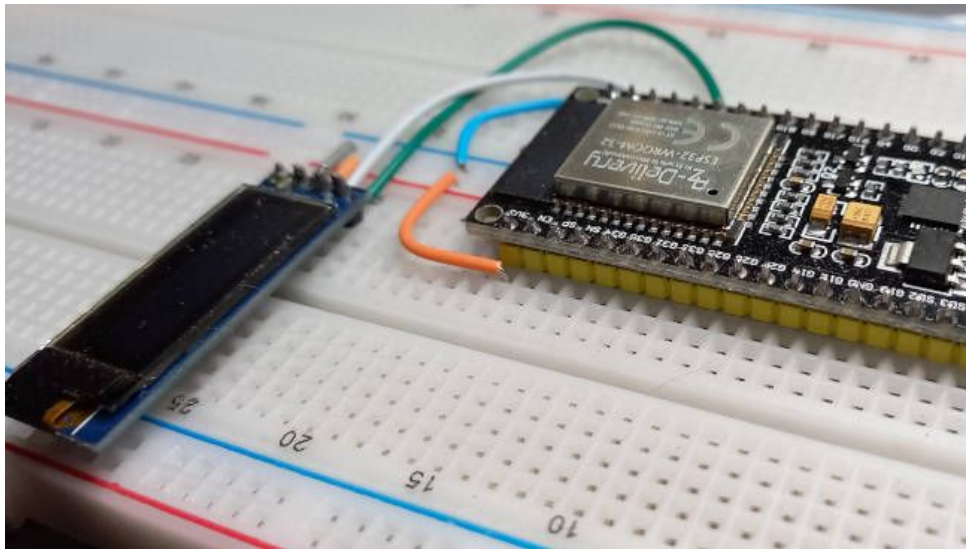
principe d'un bus I2C

La connexion est réalisée par l'intermédiaire de deux lignes:

- SDA (Serial Data Line) : ligne de données bidirectionnelle,
- SCL (Serial Clock Line) : ligne d'horloge de synchronisation bidirectionnelle.

Il ne faut pas oublier la masse qui doit être commune aux équipements.

Les deux lignes sont tirées au niveau de tension VDD à travers des résistances de pull-up (RP).



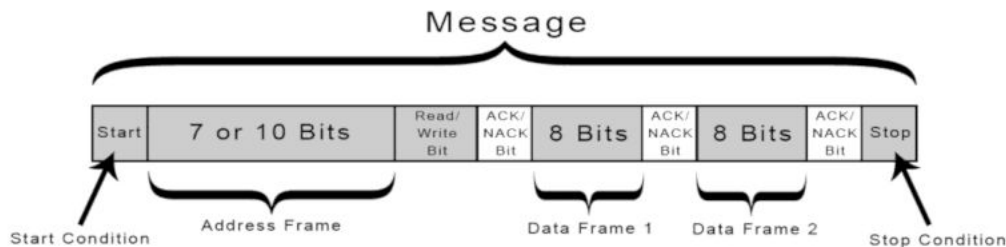
Afficheur OLED connecté au bus I2C

Échange maître esclave

Le message peut être décomposé en deux parties:

- Le maître est l'émetteur, l'esclave est le récepteur:
 - émission d'une condition de START par le maître (« S »),
 - émission de l'octet ou des octets d'adresse par le maître pour désigner un esclave, avec le bit R/W à 0 (voir la partie sur l'adressage ci-après),
 - réponse de l'esclave par un bit d'acquittement ACK (ou de non-acquittement NACK),
 - après chaque acquittement, l'esclave peut demander une pause (« PA »).
 - émission d'un octet de commande par le maître pour l'esclave,
 - réponse de l'esclave par un bit d'acquittement ACK (ou de non-acquittement NACK),
 - émission d'une condition de RESTART par le maître (« RS »),
 - émission de l'octet ou des octets d'adresse par le maître pour désigner le même esclave, avec le bit R/W à 1.
 - réponse de l'esclave par un bit d'acquittement ACK (ou de non-acquittement NACK).
- Le maître devient récepteur, l'esclave devient émetteur:
 - émission d'un octet de données par l'esclave pour le maître,
 - réponse du maître par un bit d'acquittement ACK (ou de non-acquittement NACK),

- émission d'autres octets de données par l'esclave avec acquittement du maître,
- pour le dernier octet de données attendu par le maître, il répond par un NACK pour mettre fin au dialogue,
- émission d'une condition de STOP par le maître (« P »).



Condition de démarrage: la ligne SDA passe d'un niveau de tension élevé à un niveau de tension bas avant que la ligne SCL ne passe de haut en bas.

Condition d'arrêt: la ligne SDA passe d'un niveau de basse tension à un niveau de tension élevé après le passage de la ligne SCL de bas à haut.

Cadre d'adresse: une séquence de 7 ou 10 bits unique pour chaque esclave qui identifie l'esclave lorsque le maître veut lui parler.

Bit de lecture/écriture: un seul bit spécifiant si le maître envoie des données à l'esclave (niveau bas de tension) ou en lui demandant des données (niveau haut de tension).

Bit ACK/NACK: chaque trame d'un message est suivie d'un acquittement/non-acquittement bit. Si une trame d'adresse ou une trame de données a été reçue avec succès, un bit ACK est renvoyé à l'expéditeur.

Adressage

I2C n'a pas de lignes de sélection d'esclaves comme SPI, il a donc besoin d'un autre moyen de laisser l'esclave savoir que des données lui sont envoyées, et non un autre esclave. Il le fait par adressage. La trame d'adresse est toujours la première trame après le bit de départ dans un nouveau message.

Le maître envoie l'adresse de l'esclave avec lequel il veut communiquer à chaque esclave connecté à celui-ci. Chaque esclave compare alors l'adresse envoyée par le maître à la sienne. Si l'adresse correspond, il renvoie un bit ACK basse tension au maître. Si l'adresse ne correspond pas, l'esclave ne fait rien et la ligne SDA reste haute.

C'est ainsi que le mot **wire.detect** détecte les périphériques connectés au bus i2c.

On peut connecter plusieurs périphériques différents sur le bus i2c. On ne peut pas connecter un même périphérique en plusieurs exemplaires sur le même bus i2c.

Définition des ports GPIO pour I2C

Le paramétrage des ports GPIO pour le bus I2C est très simple:

```
\ activate the wire vocabulary
wire
\ start the I2C interface using pin 21 and 22 on ESP32 DEVKIT V1
\ with 21 used as sda and 22 as scl.
21 22 wire.begin
```

Protocoles du bus I2C

Le dialogue se fait uniquement entre un maître et un esclave. Ce dialogue est toujours initié par le maître (condition Start): le maître envoie sur le bus I2C l'adresse de l'esclave avec qui il veut communiquer.

Le dialogue est toujours terminé par le maître (condition Stop).

Le signal d'horloge (SCL) est généré par le maître.

Détection d'un périphérique I2C

Cette partie sert à détecter la présence d'un périphérique connecté au bus I2C.

Vous pouvez compiler ce code pour tester la présence de modules connectés et actifs sur le bus I2C.

```
\ active le vocabulaire wire
wire
\ démarre l'interface I2C utilisant pin 21 et 22 sur ESP32 DEVKIT V1
\ avec 21 pour sda et 22 pour scl.
21 22 wire.begin

: spaces ( n -- )
  for
    space
  next
;

: .### ( n -- )
  <# # # #> type
;

\ not all bitpatterns are valid 7bit i2c addresses
: Wire.7bitaddr? ( a -- f )
  dup $07 >=
  swap $77 <= and
;
```

```

: Wire.detect ( -- )
  base @ >r hex
  cr
  ."      00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0a 0b 0c 0d 0e 0f"
  $80 $00 do
    i $0f and 0=
    if
      cr i .## ." : "
    then
      i Wire.7bitaddr? if
        i Wire.beginTransaction
        -1 Wire.endTransmission 0 =
        if
          i .## space
        else
          ." -- "
        then
        else
          2 spaces
        then
      loop
      cr r> base !
    ;

```

Ici, l'exécution du mot **Wire.detect** indique la présence du périphérique d'affichage OLED à l'adresse hexadécimale 3C:

```

Wire.detect
      00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0a 0b 0c 0d 0e 0f
00 :
10 : -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
20 : -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
30 : -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- 3c -- --
40 : -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
50 : -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
60 : -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
70 : -- -- -- -- -- -- -- -- --

```

Ici, nous avons détecté un module à l'adresse hexadécimale 3c. C'est cette adresse que nous utiliserons pour nous adresser à ce module..... @TODO : à terminer

Ressources

En anglais

- **ESP32forth** page maintenue par Brad NELSON, le créateur de ESP32forth. Vous y trouverez toutes les versions (ESP32, Windows, Web, Linux...)
<https://esp32forth.appspot.com/ESP32forth.html>

-

En français

- **ESP32 Forth** site en deux langues (français, anglais) avec plein d'exemples
<https://esp32.arduino-forth.com/>

GitHub

- **Ueforth** ressources maintenues par Brad NELSON. Contient tous les fichiers sources en Forth et en langage C de ESP32forth
<https://github.com/flagxor/ueforth>
- **ESP32forth** codes sources et documentation pour ESP32forth. Ressources maintenues par Marc PETREMANN
<https://github.com/MPETREMANN11/ESP32forth>
- **ESP32forthStation** ressources maintenues par Ulrich HOFFMAN. Stand alone Forth computer with LillyGo TTGO VGA32 single board computer and ESP32forth .
<https://github.com/uho/ESP32forthStation>
- **ESP32Forth** ressources maintenues par F. J. RUSSO
<https://github.com/FJRusso53/ESP32Forth>
- **esp32forth-addons** ressources maintenues par Peter FORTH
<https://github.com/PeterForth/esp32forth-addons>
- **Esp32forth-org** Code repository for members of the Forth2020 and ESp32forth groups
<https://github.com/Esp32forth-org>

-

Index lexical

allot.....	26	forget.....	21	Tera Term.....	55
ansi.....	46	include.....	66	thru.....	62
bg.....	27	liste des fichiers.....	66	to.....	32
c!.....	24	liste fichiers.....	66	transmettre gros fichier.....	70
c@.....	24	load.....	62	value.....	25
Codage ANSI.....	27	ls.....	66	variable.....	24
constant.....	25	mémoire.....	24	variables locales.....	31
Couleurs de texte.....	27	normal.....	27	voir contenu fichier.....	67
create.....	26	oled.....	46	wipe.....	61
defPin:.....	73	page.....	27	Wire.detect.....	85
démarrage automatique.....	53	pile de retour.....	23	21
drop.....	23	position de l'affichage.....	27	21
dup.....	23	pseudo répertoire.....	66	{.....	31
editor.....	46, 60	renommer fichiers.....	67	}.....	31
effacer fichier.....	67	rm.....	67	@.....	24
effacer fichiers.....	67	SPIFFS.....	66	+to.....	32
fg.....	27	struct.....	40		
flush.....	62	structures.....	40, 42, 46		