

GAME OVER



INSERT COIN



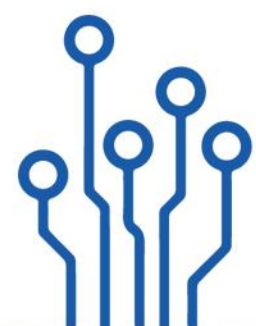
SAÉ 2



CONSOLE RETROGAMING



**Introduction
et CAO**



MICHAËL BOTTIN – IUT DE RENNES – DPT GEII



INTRODUCTION DU SUJET

Lors de la dernière séance de SAÉ, vous avez étudié le circuit imprimé de la « fabrique à histoires » de Lunii. Pour les prochaines séances, on ne va pas chercher à reproduire une version « maison » de ce produit, mais on va CONCEVOIR et fabriquer une mini-console de rétrogaming portable avec des fonctions et des composants similaires à ceux chez Lunii.

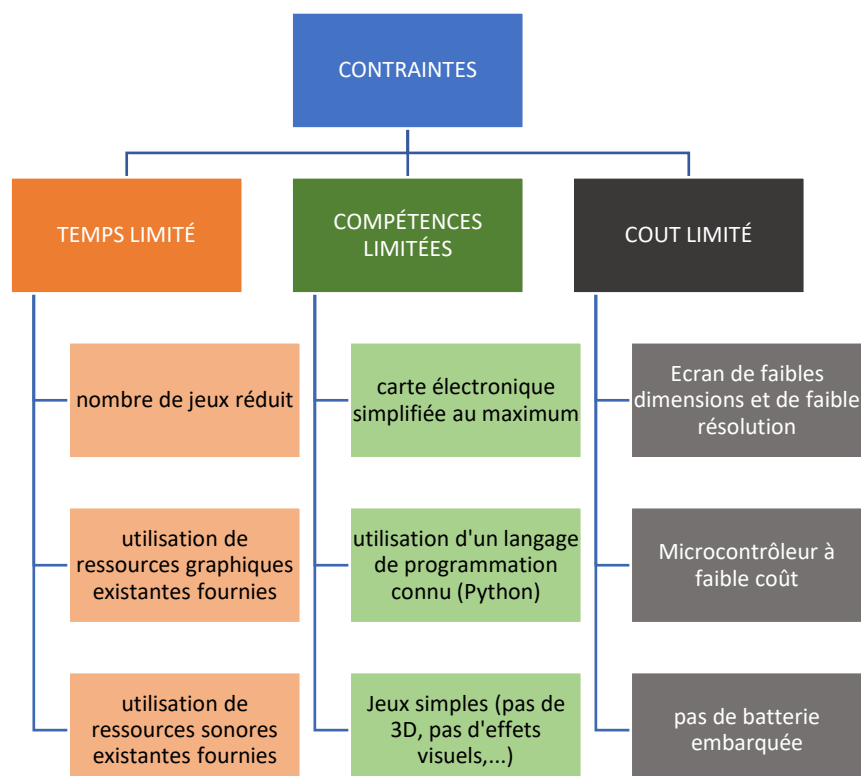
Il existe de nombreuses consoles de rétrogaming portable sur le marché. Généralement, elles émulent de vieilles consoles, des micro-ordinateurs ou des bornes d'arcade de la fin des années 70 jusqu'aux années 2000. Elles permettent donc de facilement rejouer à des jeux commerciaux sortis tout au long de ces décennies.



Toutefois, plus rares sont celles qui permettent de créer ses propres jeux et d'y jouer ensuite.

LA PROBLÉMATIQUE DE NOTRE SAÉ : Réaliser une carte électronique avec les fonctionnalités de base d'une console de rétrogaming en offrant la possibilité de créer ses propres jeux.

Dans le temps imparti, à savoir 7 séances de 4 heures (+ autonomie), vous n'allez pas pouvoir concevoir une console très évoluée. Et ce d'autant plus que cela fait peu de temps que vous avez commencé votre formation à l'IUT. Voyons rapidement les conséquences des contraintes qui en découlent :



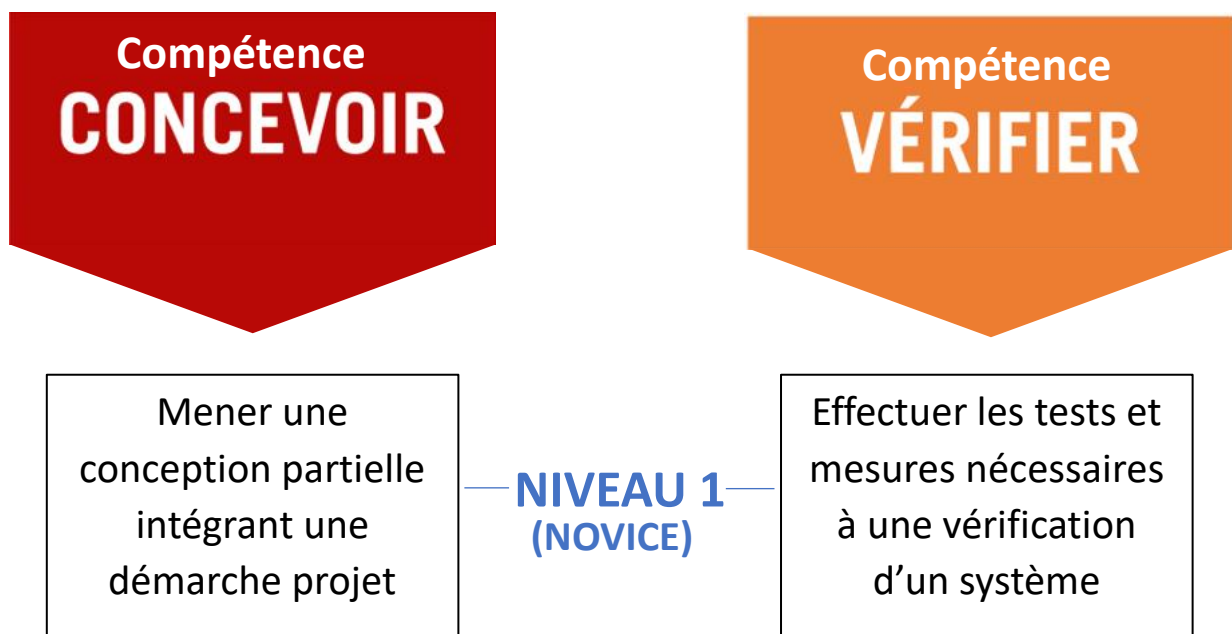
LES DIFFÉRENTES ÉTAPES DE NOTRE SAÉ : Tout au long des 7 séances de cette SAÉ, vous allez devoir valider les tâches suivantes :

- CAO de votre carte électronique de la console (schéma + routage sous Proteus)
- Fabrication de votre carte électronique (tirage, perçage, soudure)
- Tester le bon fonctionnement de votre carte
- Prendre en main l'environnement de développement pour le code
- Découvrir les particularités du langage utilisé
- Suivre un tutoriel pour acquérir de l'autonomie en programmation
- Ecrire le code des différents jeux proposés

Comme pour la précédente SAÉ, le temps sera encore une fois le facteur le plus contraignant. Il y a deux séances de plus, mais il y a cette fois-ci du code à écrire. Les enseignants seront là pour vous aider à vous organiser au mieux, mais il faudra aussi de votre côté gérer au mieux cette contrainte.

LES COMPÉTENCES DU GEII ABORDÉES DURANT CETTE SAÉ : cette SAÉ met davantage l'accent sur la compétence CONCEVOIR, mais vous allez travailler les compétences au cours des prochaines semaines :

- La compétence « CONCEVOIR » : vous allez concevoir le routage de la carte pour répondre au cahier des charges et vous allez également concevoir les codes de la console.
- La compétence « VÉRIFIER » : vous allez tester et vérifier le fonctionnement de votre carte mais également le fonctionnement de vos programmes.



ANALYSE FONCTIONNELLE

Un des apprentissages critiques attendus dans la compétence '**CONCEVOIR**' concerne l'analyse fonctionnelle. Vous devez être capable à la fin de l'année de « **produire une analyse fonctionnelle d'un système simple** ».

On peut parfaitement considérer le système de la console comme simple.

Dans un premier temps, il faut lister les principales fonctions dont nous allons besoin pour notre console :

- Afficher des images et des graphiques
- Stocker des ressources graphiques et sonores
- Interagir avec l'utilisateur
- Emettre des sons
- Coordonner les différentes fonctions de la console
- Fournir de l'énergie

A partir de cette liste de fonctions, établissez le diagramme fonctionnel de notre console de rétrogaming.

Pour rappel, un diagramme fonctionnel représente sous forme de blocs les différentes fonctions d'un système ou d'un sous-système. Et on relie ces blocs via des traits fléchés pour illustrer les différentes interactions entre les blocs de fonction.

Vous pouvez regarder le schéma proposé dans la SAÉ du variateur de lumière pour disposer d'un exemple.

Votre diagramme fonctionnel devra être présenté lors de l'évaluation finale de cette SAÉ.

Une fois que l'on a obtenu le diagramme fonctionnel, il faut normalement établir le cahier des charges fonctionnel (CDCF) de notre système et enfin déterminer pour chaque fonction du diagramme la solution technique retenue.

A ce stade de votre formation, on ne peut pas encore vous demander de réaliser par vous-même ces étapes. Ce travail a été réalisé en amont par l'enseignant qui a conçu le sujet.

Voici donc, pour chacune des fonctions du diagramme, la solution technique retenue, c'est-à-dire les composants que vous allez utiliser sur votre carte :

- **FONCTION 'Afficher des images et des graphiques' :**

L'affichage de votre console se fera par le biais d'un **écran TFT couleurs de 1,8"** de diagonale (4,6cm) et de résolution **160x128 pixels** basé sur le driver ST7735R. Il peut afficher 262k couleurs différentes. Il se pilote via une interface de communication spécifique appelé SPI. L'ensemble est monté sur un circuit imprimé doté d'un connecteur à 8 broches.



- **FONCTION 'interagir avec l'utilisateur' :**

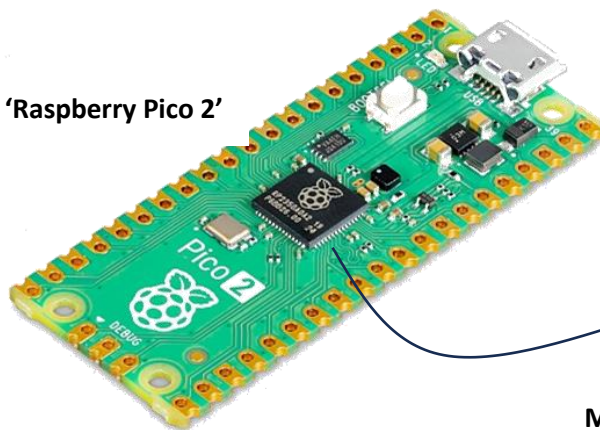
Pour effectuer des choix ou pour déplacer des éléments graphiques sur l'écran, votre carte embarquera un stick analogique deux axes (X/Y) ainsi qu'un Dpad constitué de 4 boutons poussoirs et enfin un bouton poussoir pour la sélection.



- **FONCTION 'Coordonner les différentes fonctions de la console' :**

Pour permettre l'écriture de nos propres jeux, il faut un élément programmable pour cette fonction. Le composant retenu est le microcontrôleur **RP2350** sorti en août 2024. Il sera soudé ici sur un circuit imprimé avec d'autres composants pour constituer un module appelé '**Raspberry Pi Pico 2**'. Ce microcontrôleur va à la fois gérer l'affichage, le son, récupérer les commandes de l'utilisateur grâce au code que vous copierez dans sa mémoire via son port micro-USB.

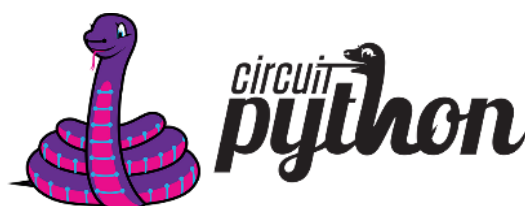
Module 'Raspberry Pico 2'



Microcontrôleur 'RP2350'

Ce microcontrôleur **RP2350** peut se programmer dans de nombreux langages de programmation comme le C, le C++, le MicroPython (MPY), le CircuitPython (CPY), le Rust, le Go, Julia,...

Pour être en phase avec votre formation en **Info1**, mais également parce que ce langage est bien adapté pour gérer des écrans graphiques ainsi que pour générer du son, vous allez utiliser le langage **CircuitPython** que vous découvrirez lors du tutoriel.



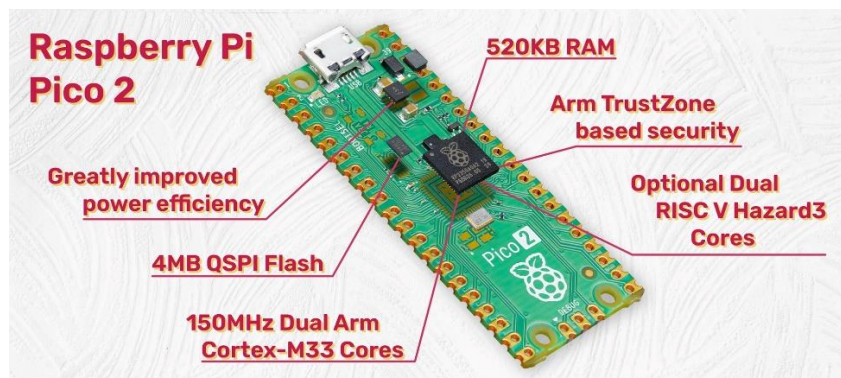
- **FONCTION 'émettre des sons' :**

Pour la génération sonore, c'est le microcontrôleur RP2350 qui va s'en charger. Mais la puissance fournie par le microcontrôleur est insuffisante pour faire bouger la membrane d'un haut-parleur. On a donc besoin d'un amplificateur audio pour augmenter cette puissance. On a choisi le composant **LM4871**. Et pour nous permettre d'entendre ces sons, votre carte embarquera également un **haut-parleur (8Ω/1W)**.



- **FONCTION 'Stockage des ressources graphiques et sonores' :**

Le module 'Raspberry Pi Pico 2' embarque de la mémoire Flash (le même type de mémoire que celle que l'on trouve dans les cartes SD ou les clés USB). La quantité disponible est de 4Mo, mais en réalité, vous ne disposerez que de 2Mo une fois le langage CircuitPython installé. Toutefois, même si cela paraît faible, ces 2Mo suffiront dans notre cas pour stocker nos images et nos sons.



Source : <https://core-electronics.com.au>

Remarque : une image au format BMP (non compressé) de résolution 160x128 (qui occupe donc tout l'écran) va utiliser environ 60ko d'espace mémoire dans la Flash soit environ 3% ! On pourrait donc en stocker environ 33 dans tout l'espace mémoire disponible sur le module 'Raspberry Pico 2'.






- **FONCTION 'Fournir de l'énergie' :**

Pour fonctionner, votre carte aura besoin d'énergie. Pour les raisons présentées en page 1, il n'y aura pas de batterie embarquée (mais vous pourrez toujours en ajouter une par la suite). L'énergie sera donc fourni via un câble micro-USB à partir d'une source de type ordinateur ou adaptateur secteur (comme un ancien chargeur de portable par exemple).



COMPARATIF VIS-A-VIS DE CONSOLES RETRO

En termes de performances, si l'on essaye de comparer la console que vous allez concevoir avec les consoles portables qui sont apparues ces dernières décennies, celle-ci correspond à peu près avec une console grand public du début des années 2000 :

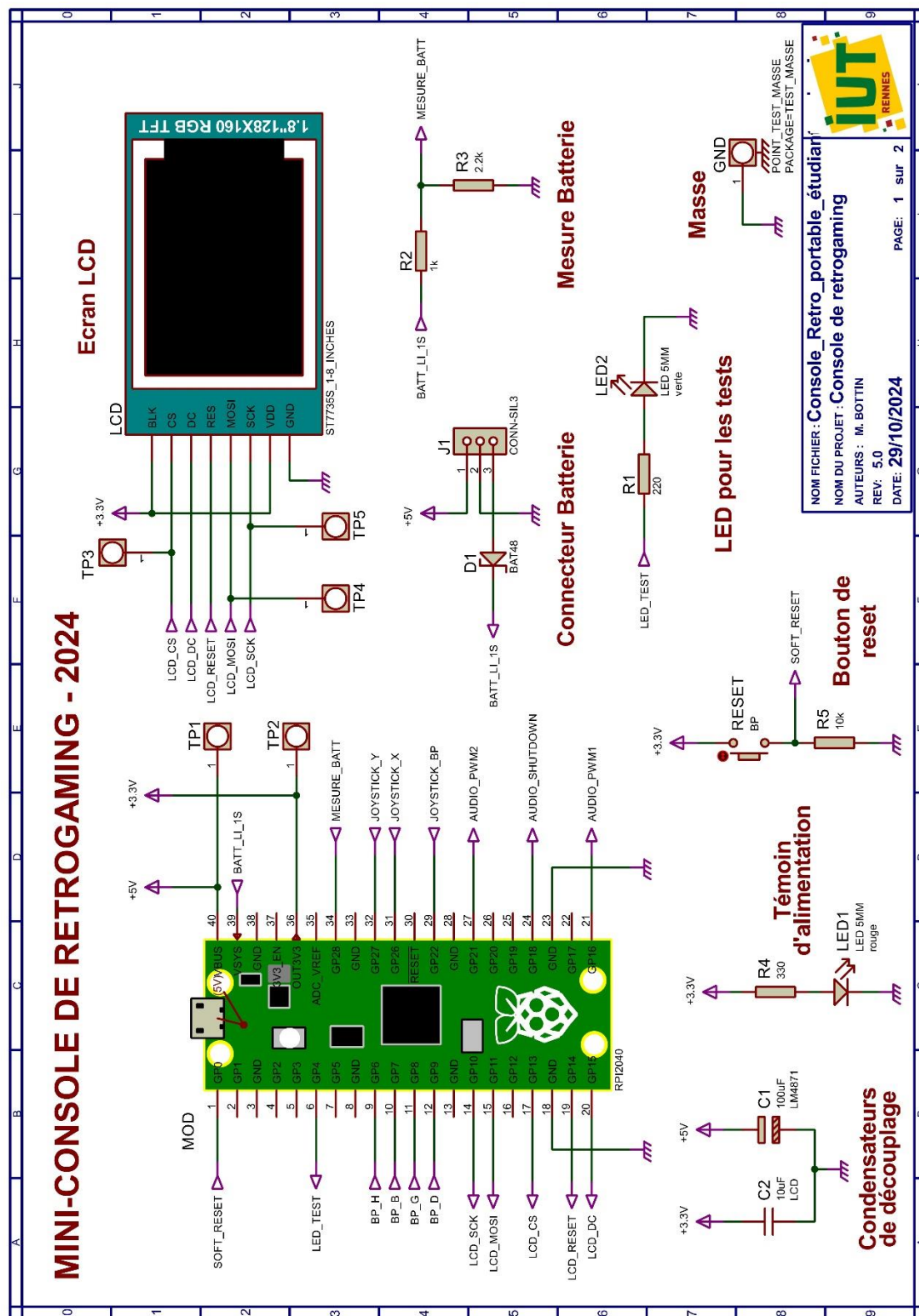
	1989 Nintendo Game boy	1990 Sega Game Gear	1998 Nintendo Game Boy Color	2001 Nintendo Game Boy Advance	2024 IUT RENNES Notre Console	2004 Sony PSP	2004 Nintendo DS
Photo							
Capture d'écran							
Technologie d'écran	LCD	TFT	TFT	TFT	TFT	TFT	TFT
Résolution de l'écran	160x144 pixels	160x144 pixels	160x144 pixels	240x160 pixels	160x128 pixels	480x272 pixels	256x192 pixels
Taille de l'écran	2,5"	3,2"	2,3"	2,2"	1,8"	4,3"	3"
Nombre de couleurs	Monochrome	4096 (12 bits)	32k (15 bits)	32k (15 bits)	262k (18 bits)	16M (24 bits)	262k (18 bits)
Architecture CPU	8 bits	8 bits	8 bits	32 bits	32 bits	32 bits	32 bits
Fréquence CPU	4,19MHz	3,5MHz	8MHz	16,8MHz	150MHz	166MHz	67MHz
RAM	8ko	24ko	32ko	288ko	520ko	32Mo	4Mo
Dimensions	148x90x32 mm	210x113x38 mm	133x78x27 mm	144x82x24 mm	120x80x25 mm	172x73x21 mm	149x85x29 mm

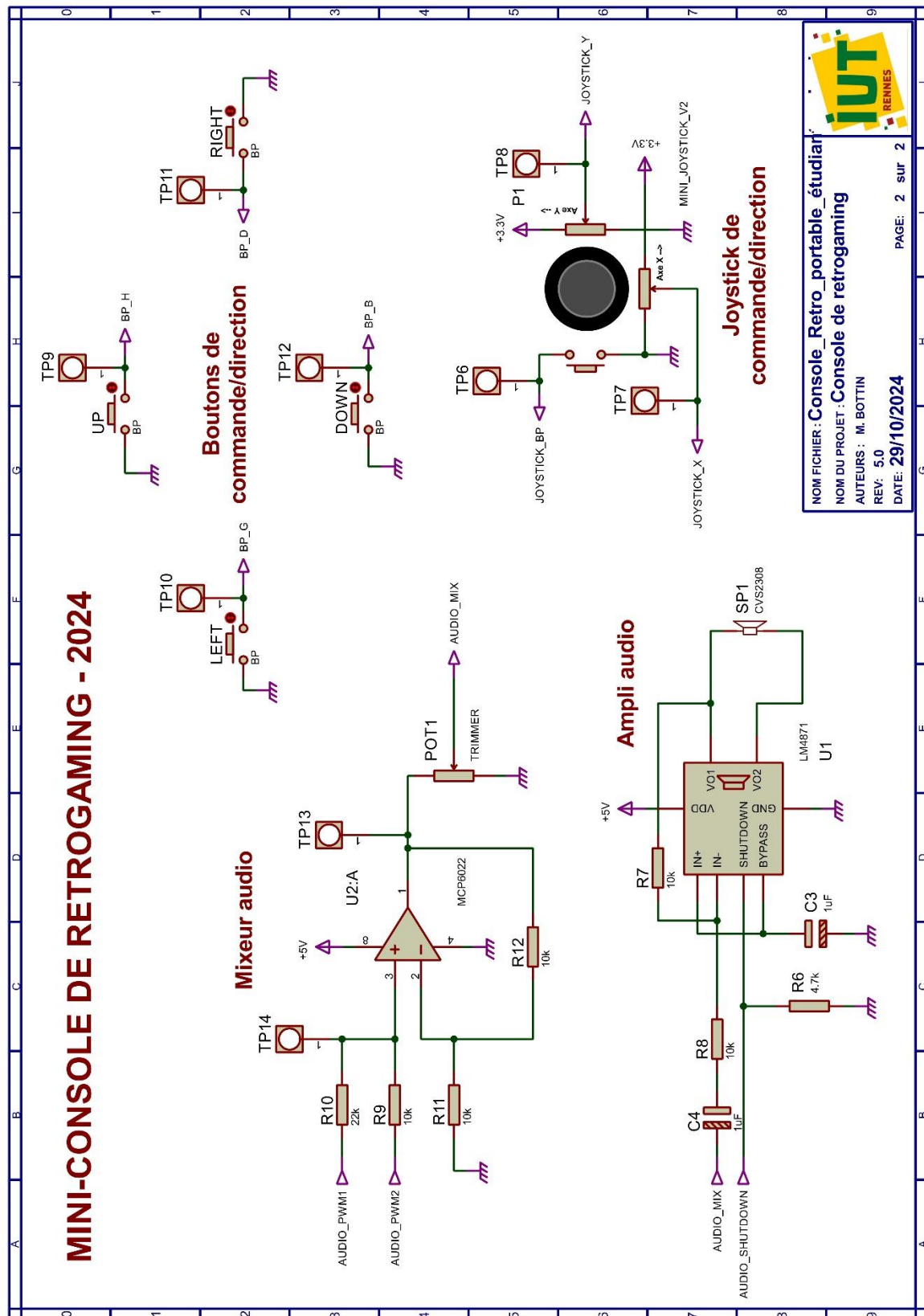
Dans le cadre de cette SAÉ à durée limitée, les jeux abordés seront relativement simples, mais cette console permettrait avec plus de temps de coder des jeux beaucoup plus complexes intégrant de la 3D comme cet exemple qui fait tourner l'un des tout premiers FPS 'DOOM' (langage C++ ici) :

<https://www.youtube.com/watch?v=eDVazQVycP4>

SCHÉMA STRUCTUREL DE LA CONSOLE

Pour cette SAE, il est encore un peu tôt pour vous laisser concevoir le schéma de la carte ou une partie. Il vous faut encore acquérir de nombreuses connaissances avant d'envisager ce type d'exercice. Le schéma vous est donc fourni tout comme dans la SAE du variateur de vitesse. Il se compose de eux pages :





Travail : faites le lien avec l'analyse fonctionnelle en entourant avec de la couleur les différents blocs de fonction sur le schéma structurel. Y a-t-il des composants qui n'appartiennent à aucune fonction précitée dans l'analyse fonctionnelle ?

CONCEPTION DU CIRCUIT IMPRIMÉ – CAO – SAISIE DU SCHÉMA

Dans ces SAÉ ayant pour thème l'électronique, vous avez systématiquement un prototype de carte à réaliser à partir d'un schéma. Vous utiliserez comme précédemment la solution logicielle **Proteus Design Suite**.

Soyez rigoureux et concentré durant cette étape, car vous avez certainement pu le constater lors de la première SAÉ, les risques d'erreurs et de dysfonctionnement sont nombreux tout au long du processus de fabrication d'une carte électronique. Chaque étape nécessite de la concentration et de la rigueur.

Prenez également le temps de bien lire au fur et à mesure tout ce qui va suivre pour éviter de passer à côté de certaines contraintes du cahier des charges et être ainsi pénalisé dans votre évaluation.

1 - Mise à jour des bibliothèques de Proteus :

La première étape avant de démarrer Proteus consiste à mettre à jour les bibliothèques de composants 'IUT' pour Proteus. En effet, celles-ci ont changé depuis la dernière SAÉ. De nouveaux composants ont été ajoutés pour ce sujet.



Le fichier zip est toujours disponible sur Moodle au même endroit dans le cours 'SAE1'. Reprenez le document '**Formation CAO – Saisie de schéma**' (pages 4-5) si vous ne vous souvenez plus des consignes pour cette mise à jour. Vous devez écraser tous les fichiers existants précédents et surtout ne pas avoir plusieurs versions de ces bibliothèques pointées par le logiciel Proteus !

2 - Création d'un nouveau projet :



Vous commencez par créer un nouveau projet sous Proteus (avec schéma et circuit imprimé) que vous sauvegarderez dans votre répertoire privé (disque H). Pensez à créer un nouveau dossier dédié à cette SAÉ.

Là également, si vous ne vous souvenez plus des différentes étapes, vous pouvez reprendre le document '**Formation CAO – Saisie de schéma**' (pages 6-9).

3 - Liste des composants à rechercher dans les bibliothèques :

Avant de dessiner le schéma, vous devez rechercher et ajouter à votre projet tous les composants nécessaires à la carte électronique de la console. Voici la liste de tous les composants que vous devez ajouter dans Proteus :

Description du composant	Librairie Proteus	Référence Proteus	Empreinte / boîtier / PCB package
Résistances (toutes)	DEVICE	RES	RES40
Condensateur (C1)	DEVICE	CAP-ELEC	ELEC-RAD20
Condensateur (C2)	DEVICE	CAP	CAP20
Condensateurs (C3-4)	DEVICE	CAP-ELEC	ELEC-RAD10
Points test (tous)	BOTTIN_DVC	POINT_TEST	POINT_TEST_TRAVERSANT_S80
Point test de masse (GND)	BOTTIN_DVC	POINT_TEST_MASSE	TEST_MASSE
LED (toutes)	BOTTIN_DVC	LED 5MM	LED 5MM
Boutons poussoirs (tous)	BOTTIN_DVC	BP	BP
Joystick analogique (P1)	BOTTIN_DVC	MINI_JOYSTICK_V2	MINI_JOYSTICK_PS5
Diode (D1)	BOTTIN_DVC	BAT48	DO35
Ecran LCD	BOTTIN_DVC	ST7735S_1-8_INCHES	ST7735S_1-8_INCHES
LM4871 (U1)	BOTTIN_DVC	LM4871	SOIC08_IUT
MCP6022 (U2)	MICROCHIP	MCP6022	DIL08_IUT
Raspberry Pico (MOD)	BOTTIN_DVC	RPI2040	RPI2040
Potentiomètre volume (POT1)	BOTTIN_DVC	TRIMMER	TRIMMER_PKG
Haut-parleur (SP1)	BOTTIN_DVC	CS2308	SPKR_CVS2308
Connecteur 3 points (J1)	CONNDVC	CONN-SIL3	CONN-SIL3

Les empreintes/packages **en gras** sont celles à modifier dans les propriétés des composants ('PCB Package') une fois ceux-ci en place sur votre schéma.

4 - Saisie du schéma :

Une fois les composants disponibles dans le sélecteur, vous pouvez les positionner conformément au schéma fourni précédemment dans ce document.

Quelques consignes :

- **Tout ce qui est sur le schéma de ce document doit figurer sur votre propre schéma (cartouche, texte, annotations...)**
- **Vous devez faire votre schéma sur deux pages différentes comme sur l'original de ce sujet. Utiliser 'Projet > Nouvelle feuille' pour créer une nouvelle page.**
- **Utilisez des labels ou des ports pour ne pas tracer toutes les connexions.**

L'étape de la saisie du schéma n'est pas une étape compliquée, mais il ne faut rien oublier car elle peut être source d'erreurs parfois longues et difficiles à corriger une fois la carte fabriquée.

Il est bien plus rapide et facile de refaire une mauvaise soudure, de resouder un composant mal placé que d'ajouter des fils pour remplacer des pistes manquantes par exemple.

Prenez donc le temps de vérifier plusieurs fois vos composants, vos connexions, vos labels...

Les enseignants qui vous encadrent ne corrigeront pas toutes vos erreurs, ils ne corrigeront que celles qui sont critiques pour votre carte.

CONCEPTION DU CIRCUIT IMPRIMÉ – CAO – ROUTAGE DE LA CARTE

Pour la partir circuit imprimé, à plusieurs reprises, des éléments vont vous être imposés. C'est un choix arbitraire pédagogique. Ceci vous permettra de gagner du temps sur le routage et donc de disposer de davantage de temps sur la partie programmation.

1 - Dimensions de la carte :

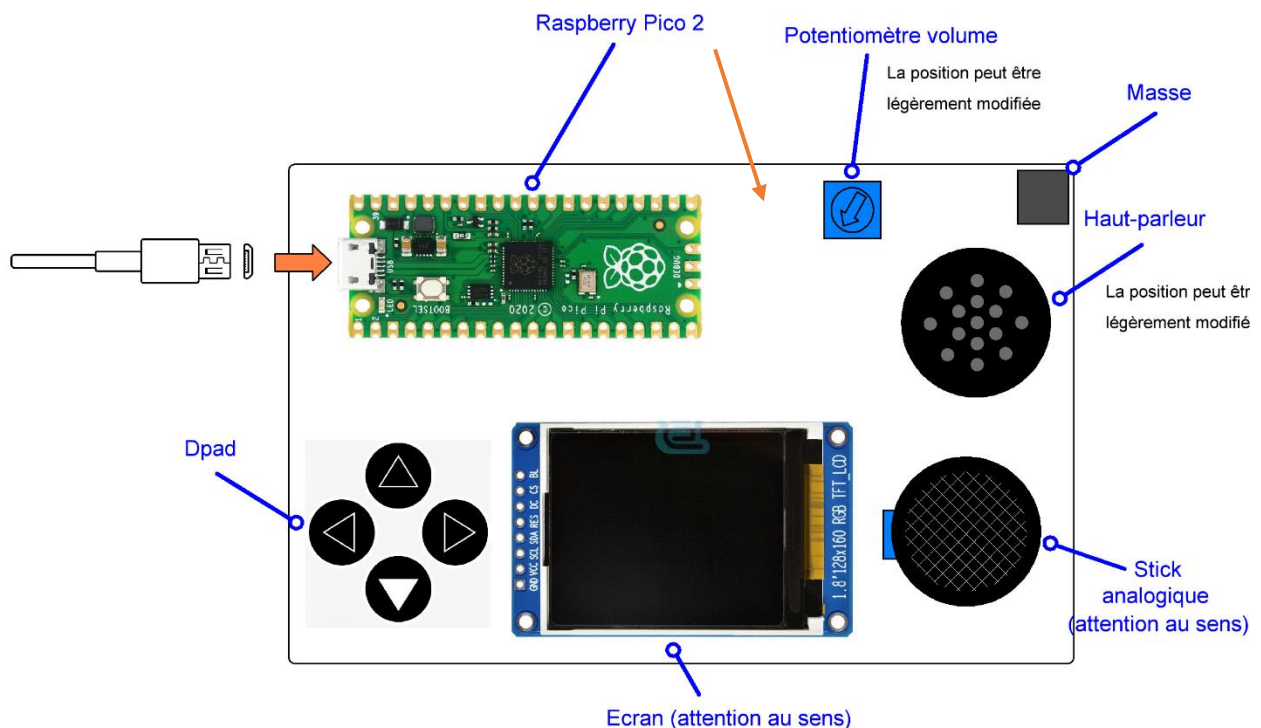
Les dimensions de la carte sont ici imposées. Votre circuit imprimé doit être rectangulaire de dimensions 4,72 pouces par 3,15 pouces.

Utilisez donc l'outil graphique rectangle pour tracer (couche **Board Edge**) le contour de votre carte.

ATTENTION, respectez bien ces dimensions. Ne vous avisez pas de mettre 4,8 pouces au lieu de 4,72 pouces en vous disant que la différence est mineure (~2mm). En effet, nous coupons les cartes en amont de votre travail, donc si votre typon est trop grand, des pistes pourraient être coupées !

2 - Placement des composants :

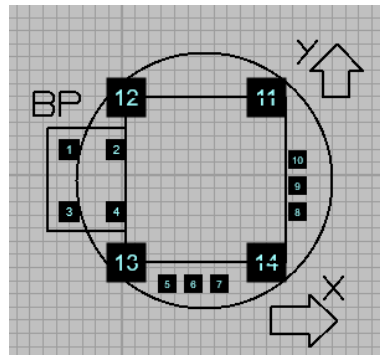
Pour le placement, la position approximative de la plupart des composants est imposée pour cette carte (Cf. figure ci-dessous). Cela vous permettra d'avoir une carte assez ergonomique pour la suite.



CONTRAINTES DE PLACEMENT (CAHIER DES CHARGES DE LA CARTE)

Outre le positionnement proposé sur la page précédente, des contraintes supplémentaires viennent s'ajouter :

- Le placement des composants doit se faire en **mode manuel** pour garantir au mieux le respect des différentes contraintes.
- **Ne collez aucun composant sur le bord de votre carte. Laissez un peu d'espace pour permettre le passage d'une ou deux pistes de cuivre.**
- **Placer correctement les condensateurs de découplage.** C_2 doit au plus près des broches d'alimentation de l'écran LCD. C_1 doit être placé au plus près des broches d'alimentation de l'amplificateur audio LM4871.
- Le connecteur '**micro USB**' du module '**Raspberry Pico 2**' doit assez être proche du bord de la carte et dirigé vers l'extérieur pour pouvoir facilement brancher/débrancher le câble micro-USB d'alimentation et de programmation. Les broches du module '**Raspberry Pico**' doivent rester très accessibles pour le routage afin de pouvoir tracer les pistes.
- Les points test qui sont directement reliés au module '**Raspberry Pico 2**' doivent être juste à côté des broches correspondantes de celui-ci. Les autres points test doivent être proches des éléments concernés par le test (comme sur le schéma)
- L'écran **LCD** doit avoir son connecteur sur la gauche (vers les boutons de direction) pour être sûr que l'affichage soit dans le bon sens.
- Les boutons poussoirs '**UP**', '**LEFT**', '**RIGHT**' et '**DOWN**' doivent être positionnés conformément aux directions qu'ils indiquent.
- Le joystick doit être orienté sur la carte de façon à respecter la direction de ses axes X (horizontal) et Y (vertical) :

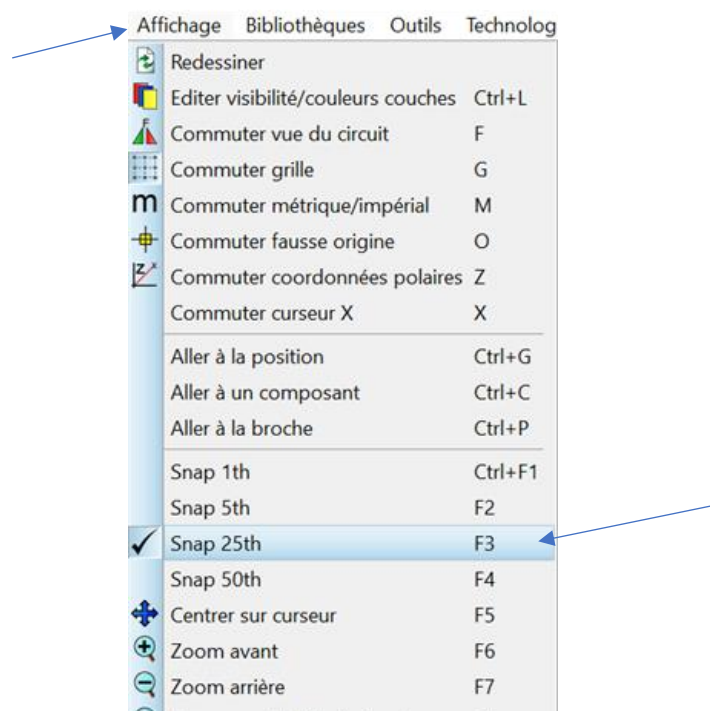


- Le point test de masse '**MASSE**' doit être positionné **dans l'angle supérieur droit** de la carte.
- Pour les autres composants, utilisez votre bon sens en vous mettant à la place d'un utilisateur lambda tout en minimisant la complexité du routage.


CONSEILS DE PLACEMENT

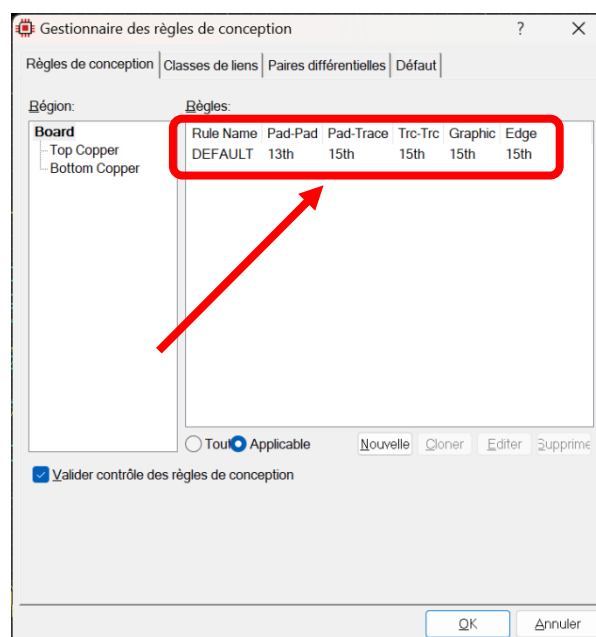
- Pour faire un placement optimal, vous devez travailler avec **votre** schéma structurel sous les yeux ! Imprimez-le si possible et sinon consultez-le régulièrement au fur et à mesure que vous placez vos composants.

- Votre grille doit être en **th** et non en mm (**m**).
- Réglez votre pas de grille sur **25th** via le menu '**Affichage**' ou avec la touche '**F2**' :

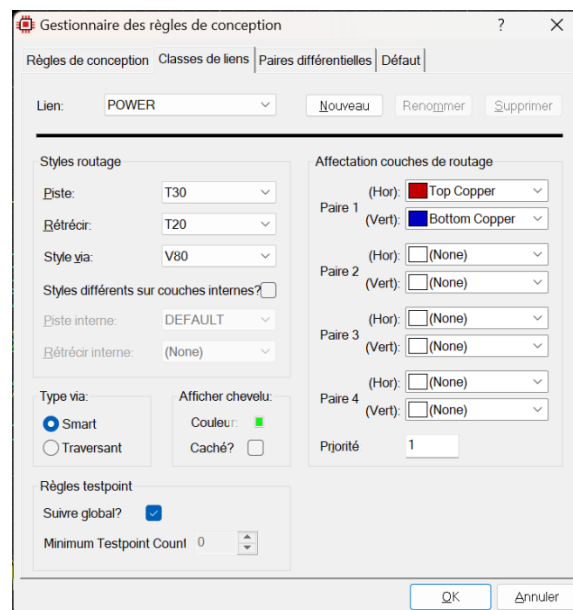


3 – Règles de conception de la carte :

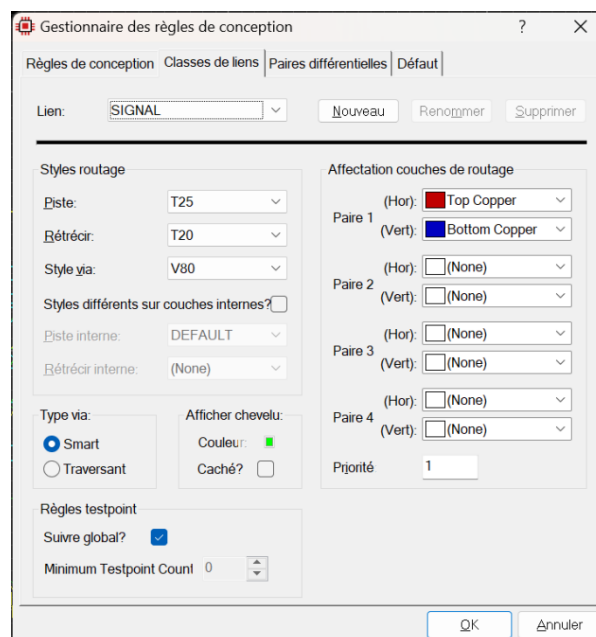
- Avant d'aborder le routage (tracé des pistes), vous devez absolument régler au préalable les règles de conception de la carte. (). Dans la fenêtre dédiée, vous devez :
 - Dans l'onglet '**Règles de conception**', veuillez modifier les valeurs conformément à la figure ci-dessous :



- ii. Dans l'onglet '**Classes de liens**', régler la largeur des pistes d'alimentation (lien **POWER**) sur 30th (**T30**), le rétrécissement sur 20th (**T20**) et les traversées sur 80th (**V80**) conformément à la figure de la page suivante.



- iii. Dans l'onglet '**Classes de liens**', régler la largeur des pistes des signaux (lien **SIGNAL**) sur 25th (**T25**), le rétrécissement sur 20th (**T20**) et les traversées sur 80th (**V80**) conformément à la figure de la page suivante.



4 - Routage de la carte :

Le routage de la carte devra se faire en mode manuel comme lors de la première SAÉ. Ayez bien en tête les soucis et les erreurs commises lors du précédent sujet pour vous améliorer dans la conception de votre console de rétrogaming.

CONTRAINTES DE ROUTAGE (CAHIER DES CHARGES DE LA CARTE) :

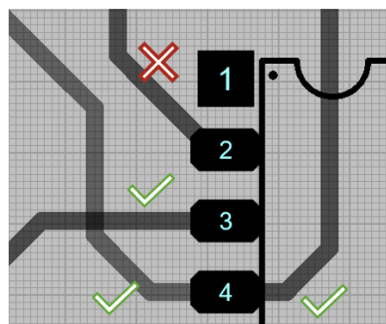
- Le routage est à faire en mode '**MANUEL**'. Vous n'utiliserez pas le routeur automatique.
- La carte est en double face :
 - Composants uniquement du côté '**Top**' (Couche 'Top Silk' de couleur cyan)
 - Pistes de cuivre aussi bien du côté '**Top**' (Couche 'Top copper' de couleur rouge) que du côté '**Bottom**' (Couche 'Bottom copper' de couleur bleu)
 - Indications (labels, noms, groupe...) sont côté '**Top**' (Couche 'Top copper' de couleur rouge)
 - **Il ne doit pas y avoir de piste à moins de 50th des bords de la carte (du 'board edge').**
- **Certains composants ne peuvent être soudés que du côté 'Bottom'**. Veillez donc à ce qu'il n'y ait que des pistes bleues arrivant sur les composants suivants :
 - **Raspberry Pico 2**
 - **Ecran LCD ST7735**
 - **Boutons de direction et de reset (plus faciles à souder en bottom)**
 - **Joystick analogique**
 - **Haut-parleur**
 - **Potentiomètre de volume**
 - **Connecteur de batterie J1**
 - **Condensateurs (plus faciles à souder en bottom)**

Remarque : vous pouvez, si vous le désirez, utiliser la technique qui consiste à ajouter des cadres sur la couche '**Keepout**' pour éviter ainsi d'oublier ces contraintes de routage. Veuillez-vous reporter au document de formation CAO pour revoir la démarche.


- **Au besoin, vous pouvez placer des vias sous les composants suivants :**
 - **Raspberry Pico 2**
 - **Ecran LCD**

Mais il est interdit de mettre des vias sous aucun autre composant (y compris le joystick).

- Limiter au maximum le nombre de 'vias' car cela vous facilitera énormément la phase de soudure de votre carte.
- Veillez à ne jamais arriver en diagonale sur les pastilles de la Raspberry Pico 2, de l'écran, du LM4871, du MCP6022 et du joystick :

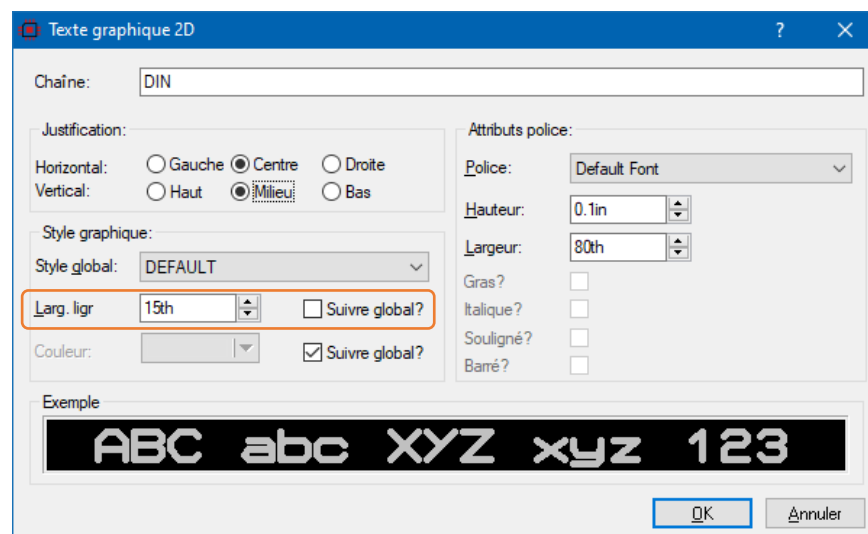


- **Annotations côté 'top' :** L'idée est d'ajouter un maximum d'informations dans la limite de la place disponible afin de rendre l'usage de la carte plus clair pour l'utilisateur :
 - Ajout de vos noms de binômes et de votre groupe.
 - Ajout de '**MASSE**' au niveau du point test de masse.

- Ajout de '**VOL**' au niveau du potentiomètre de réglage du volume.
- Ajout de flèches ▲▼◀▶ au niveau des 4 boutons poussoirs de direction (utiliser pour cela l'outil 'polygone'  sur la touche '**Top Copper**' pour tracer vos flèches).
- Ajout de '**SEL**' au niveau du bouton poussoir du joystick.
- Ajout de '**TP1**' jusqu'à '**TP14**' pour tous les points test de la carte.
- Ajout de '**ON**' à côté de la LED témoin d'alimentation.
- Ajout de '**TEST**' à côté de la LED de test.
- Ajout de '**RESET**' à côté du bouton de reset.
- Annotations '**+5V**', '**GND**' et '**1S**' au niveau du connecteur J1.

Remarque : Vous serez probablement amené à déplacer légèrement certaines pistes pour pouvoir placer toutes vos annotations.

De plus, régler la **largeur de ligne** de chaque texte sur **15th** au moins (cf. figure ci-dessous) !!



FABRICATION DE LA CARTE – TIRAGE, PERCAGE ET SOUDURE

Vous pourrez ensuite passer à la phase de réalisation pratique, **après avoir fait contrôler votre routage par un enseignant**. Pour cela :

- Imprimer votre typon '**Top**' sur un **calque** (format **A5** sur le copieur disponible dans le couloir – bac **Bypass**) avec uniquement les couches '**Top Copper**' et '**Board Edge**' et sans faire de miroir. Puis imprimer votre typon '**Bottom**' sur un calque (format **A5** dans le bas **Bypass**) avec uniquement les couches '**Bottom Copper**' et '**Board Edge**' et sans faire de miroir. Former ensuite une pochette avec l'aide de la table lumineuse en fermant **deux bords** avec du scotch (voir l'exemple près de la table lumineuse en T3Bis).
- Puis effectuer toutes les étapes nécessaires pour obtenir votre circuit imprimé **avec l'aide d'un enseignant ou d'un technicien** : insolation, révélation, gravure.
- Surtout ne pas oublier de **frotter votre carte à l'alcool suffisamment** avant de souder.

- Percer (**toutes les pastilles carrées en 1mm et tous les autres en 0,8mm**) votre carte
 - Toutes les autres pastilles de forme carrée : **forêt de 1mm**
 - Les autres plus grosses pastilles de forme carrée du joystick : **forêt de 1,2mm**
 - Tout le reste : **forêt de 0,8mm**
- Contrôler certaines pistes au multimètre si leur continuité vous semble douteuse.
- Pour la soudure, respecter au maximum cet ordre :
 - Souder tout d'abord tous les vias (n'oubliez pas celui du point de masse).
 - Souder ensuite les résistances traversantes et la diode (attention à son sens).
 - Souder l'amplificateur audio LM4871.
 - Souder les boutons poussoirs.
 - Souder les LED en prenant soin de les mettre dans le bon sens.
 - Souder tous les supports femelles (Raspberry Pico 2, Ecran LCD et MCP6022). **Faites bien attention à ce qu'ils soient bien verticaux et non légèrement penchés sinon le module électronique risque de ne pas s'insérer facilement dans le support !**
 - Souder le connecteur femelle à 3 broches J1.
 - Souder les condensateurs en respectant le sens des condensateurs polarisés.
 - Souder le potentiomètre du volume.
 - Souder le haut-parleur en faisant attention à son sens.
 - Souder ensuite le joystick.