



# gants vibro-tactiles

une avancée pour les patients de Parkinson

Hans Van Essen (Pays-Bas)

Ce projet est né suite au triomphe de Hans van Essen lors concours Elektor Labs 2024 Project Contest [1], où ses gants VibroTactile pour les patients de Parkinson ont impressionné le jury par leur approche innovante de l'amélioration des troubles motrices grâce à la technologie de stimulation vibro-tactile. Conçus spécifiquement pour les patients atteints de la maladie de Parkinson, ces gants utilisent améliorer efficacement la motricité. En agissant sur les bout des doigts, ces gants offrent un soulagement, révolutionnant la gestion des difficultés motrices associée à la maladie de Parkinson.

Après qu'un proche a été diagnostiqué avec la maladie de Parkinson, je me suis engagé dans le développement d'un ensemble de gants vibrotactiles, inspiré par les recherches par Peter A. Tass [2]. Il est établi que chez les patients de Parkinson, les cellules du cerveau présentent une sorte de synchronisme. Lorsque certains neurones sont activés, par exemple durant des actions comme la marche, les neurones adjacents s'activent également, entraînant des mouvements involontaires. Cette synchronisation peut gravement altérer la fonction motrice, rendant même la marche impossible pour certains patients.

## Solution

La recherche a démontré que la stimulation de ces zones cérébrales selon un schéma précis peut « désynchroniser » les neurones, leur permettant ainsi de fonctionner de manière indépendante et d'améliorer notamment la motricité des patients. Bien que certains choisissent des implants cérébraux invasifs pour obtenir cette stimulation, les recherches évoquées révèlent que la stimulation des extrémités sensibles des doigts peut produire des effets bénéfiques similaires. Des séances pouvant durer jusqu'à quatre heures par jour ont permis d'obtenir des améliorations significatives, comme le rapporte un article de NBC Today [3].



Figure 1. Un des doigtiers.

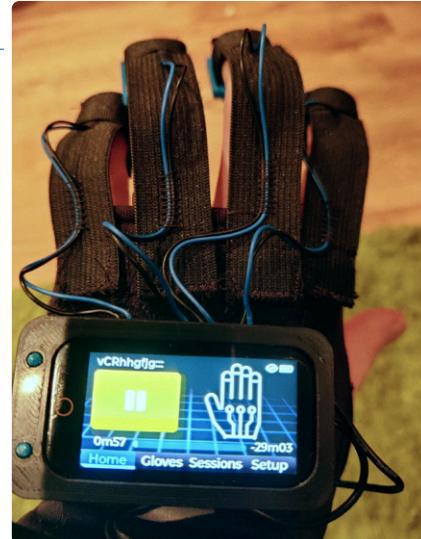


Figure 2. L'interface tactile avec les deux boutons matériels également visibles à gauche.

Comme le démontre la vidéo de mon prototype [4], les gants émettent des impulsions aléatoires via des pads spéciaux (**figure 1**) placés sur les bouts des doigts durant le traitement. Ces impulsions sont générées de manière aléatoire pour chaque doigt avec une gigue aléatoire, toutefois, il est crucial de maintenir une synchronisation entre les deux mains. Les deux mains et leurs doigts correspondants doivent recevoir le même rythme aléatoire synchronisé.

## Mon projet

Le matériel utilisé au cours de la recherche comprenait un contrôleur externe encombrant avec des bandoulières et de nombreux câbles menant aux mains, ce qui nuisait considérablement à la qualité de vie, comme illustré dans la vidéo de NBC. En revanche, les gants que j'ai développés présentent de nombreux avantages :

- Ils sont sans fil. Des piles situées au poignet assurent une autonomie de quatre jours au moins avec une recharge via USB-C.
- Un écran tactile placé sur le dos de la main (**figure 2**) permet de contrôler toutes les fonctions – démarrage/arrêt, paramètres et suivi de l'utilisation.
- La synchronisation est précise, car, bien que la stimulation soit aléatoire, elle est coordonnée entre les mains. Les gants maintiennent une synchronisation à 320 µs près grâce au protocole sans fil ESP-NOW et à une version adaptée de NTP (Network Time Protocol).
- Ils sont compatibles BLE (Bluetooth Low Energy), ce qui permet aux utilisateurs de suivre les paramètres, les niveaux de piles et les sessions d'utilisation via une application pour smartphone.

Ce projet a rassemblé plusieurs disciplines, notamment la CAO, l'impression 3D, la conception de circuits, la conception de circuits imprimés, l'utilisation d'une carte ESP32, et un développement approfondi du micrologiciel en C++ pour l'ESP, y compris le contrôle des pilotes d'affichage (et même l'intégration dans Home Assistant). L'objectif initial était de concevoir des gants que mon proche puisse porter lors d'activités quotidiennes telles que promener le chien ou cuisiner, sans les désagréments liés aux câbles et à un contrôleur encombrant lui permettant ainsi de mener une vie plus « normale ». Le projet respecte également l'objectif 3 des objectifs de développement durable [5], à savoir « la santé et le bien-être ».



Figure 3. Le Mini moteur vibrant 316040001 de Seeed Studio. (Source : Seeed Studio [6])



**Attention : Consultez toujours un neurologue avant de mettre en œuvre celle conception. Ni l'auteur ni Elektor ne sauraient être tenus responsables des éventuels dommages ou blessures résultant de l'utilisation de ce dispositif.**

## Fonctionnement interne

La théorie qui sous-tend ces gants est qu'en stimulant le bout des doigts par de faibles vibrations, ces stimuli atteindront le cerveau via le système nerveux, induisant une désynchronisation des neurones « bloqués ». Créer des vibrations sur les bouts des doigts semble assez simple. Pour ce faire, j'ai utilisé un moteur vibrant pour chaque doigt, en particulier le 316040001 Mini Vibration Motor de Seeed Studio (**figure 3**) [6]. Ces moteurs sont des moteurs pour circuit imprimé, fonctionnent grâce à un petit contrepoids qui, en tournant, génère des vibrations. Le principe est simple : dès que le moteur est alimenté en tension, il se met à vibrer.

## Au cœur du gant

Le cœur de ces gants consiste en deux cartes Lilygo T-Display-S3 [7], visibles le prototype finalisé (**figure 4**). Ces cartes intègrent un écran TFT couleur de 1,9 pouce avec un capteur tactile capacitif. Le Lilygo est animé par un ESP32-S3, ce qui offre une grande puissance de traitement et de la mémoire pour notre application - nous devons juste surveiller la consommation énergétique. L'ESP32 est doté du Wifi et BLE, ce qui permet de se connecter à des smartphones ou à des réseaux Wifi. L'utilisation de l'interface Wi-Fi joue



Figure 4. Le prototype terminé.

un rôle crucial dans notre système, que je détaillerai ultérieurement. Un autre élément intéressant de la carte Lilygo est le chargeur de pile LiPo intégré, essentiel pour maintenir la portabilité et l'autonomie des gants. Le chargeur utilise le connecteur USB-C intégré pour recharger le LiPo, rendant le processus de recharge aussi simple que celui d'un smartphone.

### Construction : les bouts des doigts

Nous avons en main tous les composants essentiels : microprocesseur, écran tactile, chargeur USB, piles LiPo, moteurs vibrants... Quels pourraient être les obstacles ? En réalité, ils sont nombreux. Tout commence au bout des doigts. Lors des premières étapes du développement, mon objectif était de rendre les gants aussi confortables que possible. J'ai choisi des gants de course du commerce et j'ai essayé d'intégrer mes petits moteurs. L'enjeu était de fixer ces petits moteurs aux gants de sorte qu'ils demeurent précisément au même endroit sur chaque doigt.

J'ai découpé des ouvertures dans les doigts des gants pour y insérer les moteurs et j'ai essayé de les fixer par couture. Cette méthode échouait - en enfantant les gants, la pression exercée déplaçait les moteurs, endommageant les fils de connexions délicats.

Je me suis ensuite tourné vers une solution apparemment fiable - la colle chaude. J'ai collé les moteurs sur des morceaux de bande Velcro, que j'ai ensuite enroulées autour des doigts. Cela semblait être une bonne solution. Mais, les vibrations des moteurs continuaient à rompre les fils, provoquant régulièrement des pannes de moteur, le meilleur ne survivant que trente minutes. Nous voilà donc confrontés à un problème récurrent : comment assurer la durabilité des moteurs face à l'intensité des vibrations ?

Retour à la planche à dessin. Je devais trouver un moyen de fixer ces petits fils fragiles. C'est là que l'idée de créer des doigtiers personnalisés imprimés en 3D a émergé. Cela a permis de résoudre trois problèmes à la fois :

- En incorporant une petite cavité dans le design des embouts des doigts et en encastrant les moteurs au ras de la cavité, nous avons considérablement amélioré le confort.
- Les fils du moteur sont désormais complètement protégés, cheminant à travers des canaux prévus à l'intérieur du doigtier (**figure 5**), se connectant aux fils d'extension en silicium plus grands. À l'intérieur du doigtier se trouve un espace où ces fils sont soudés ensemble. Cette cavité est ensuite remplie de colle. Cette approche garantit que les moteurs et leurs fils fragiles sont

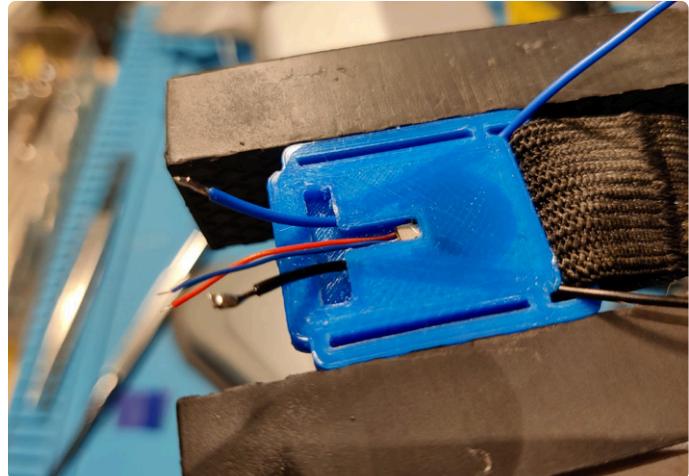


Figure 5. L'intérieur d'un doigtier.

entièrement encapsulés dans la colle, formant ainsi un seul bloc solide et durable. Les vibrations ne causeront plus la rupture des fils.

- Pour adapter le doigtier à la taille du doigt du porteur, nous avons utilisé du ruban Velcro enroulé autour de poignées spécialement conçues sur le doigtier (également visibles sur la figure 5), assurant une bonne tenue pour les différentes parties des gants.

### Construction : les piles

Les gants utilisés sont des modèles de course ordinaires. Ils ne sont pas très épais et sont confortables à porter. J'ai découpé les doigts et conservé la partie de la main (**figure 6**). J'ai opté pour un design où le contrôleur est placé sur le dos de la main, et la pile sur le poignet. Cela permet d'intégrer deux piles LiPo 18650 en parallèle. J'ai utilisé des cellules placées dans un porte-pile plutôt que dans une pochette LiPo, de sorte que vous pouvez remplacer les cellules par des cellules nouvellement chargées en cas d'indisponibilité de recharge.



Figure 6. Vue du côté de la paume.

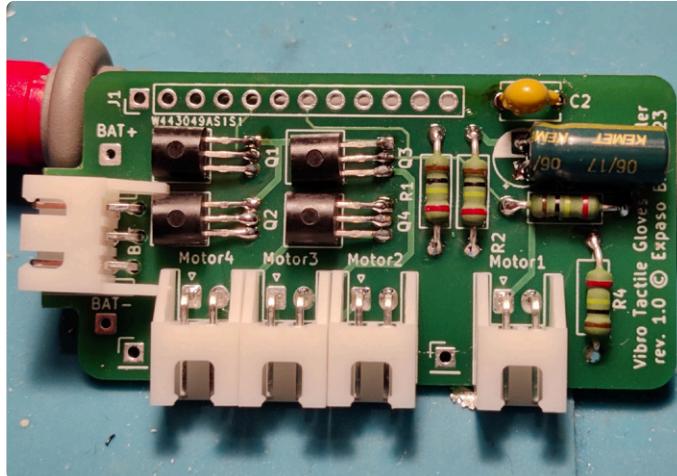


Figure 7. Le circuit imprimé personnalisé que j'ai conçu et fait fabriquer par PCBWay.

Le porte-pile est « plié » dans la manche du gant pour éviter les bords tranchants. Vous pouvez également utiliser une seule pile 18650, réduisant de moitié le poids de la pile et rendant l'ensemble moins encombrant.

L'autonomie des gants dépend de la capacité des piles. Avec des cellules de grande capacité, les gants peuvent fonctionner jusqu'à 16 heures consécutives avec une seule pile par gant, permettant jusqu'à quatre jours d'utilisation si utilisés quatre heures par jour. L'utilisation de deux de ces piles par gant double cette durée, atteignant huit jours d'autonomie.

En observant le circuit imprimé personnalisé du contrôleur (voir **figure 7**), vous pouvez voir le connecteur de pile JST sur le côté gauche. Cela vous permet de déconnecter complètement la pile lorsque les gants sont stockés pendant de longues périodes, évitant ainsi que le contrôleur ne décharge lentement les piles. Le contrôleur de charge de la Lilygo n'empêchera pas cela. L'utilisation de piles protégées est conseillée. Consultez une sélection de types de piles au lien [8]. Le fait de porter ces piles près du corps souligne l'importance d'utiliser des piles protégées pour se prémunir contre tout risque de surchauffe.

### Construction : le contrôleur

Le cœur de ce projet se trouve le Lilygo T-Display-S3, équipé d'un écran tactile. L'écran dispose de plusieurs broches de connexion sur l'écran. J'ai conçu un petit circuit imprimé qui s'adapte parfaitement à ces broches, formant un ensemble compact (**figure 8**). Ce circuit imprimé comprend les connecteurs JST pour la pile, les moteurs sur les bouts des doigts, et quelques circuits de tamponnage.

Notre carte électronique peut sembler ordinaire. Si vous observez les schémas (**figure 9**), vous verrez deux condensateurs (C1 et C2). Parce que nous utilisons des moteurs à impulsions, le bruit sur les lignes d'alimentation est élevé, en particulier lorsque les piles sont faibles. C2 filtre les fréquences élevées, tandis que C1 est utilisé pour atténuer les courants de démarrage élevé lors de l'activation d'un moteur, stabilisant ainsi la tension du contrôleur. Bien que le Lilygo dispose d'un petit condensateur à côté du processeur pour stabiliser son alimentation, le découplage de ces parties du circuit est essentiel.

La prochaine étape est la mise en mémoire tampon des signaux de sortie vers les moteurs. Alimenter directement les moteurs à partir des broches de sortie du processeur serait imprudent en raison des courants impliqués. Nous utilisons donc des MOSFET externes. Q1 à Q4 sont des MOSFET 2N7000, intègrent une diode de corps qui court-circuitera la FEM arrière provenant des moteurs. La CEM inverse est générée lorsqu'un moteur est déconnecté de son alimentation.

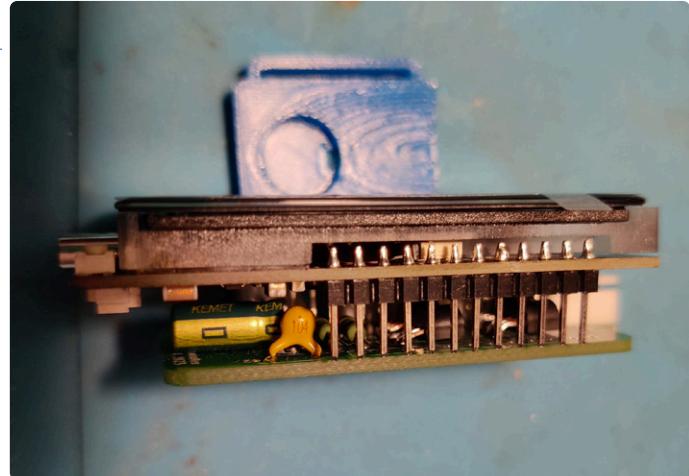


Figure 8. Comment ma carte personnalisée et le Lilygo sont assemblés.

Le champ magnétique existant autour des bobines s'effondre soudainement, générant une tension opposée à la tension d'alimentation. Cette tension négative pourrait potentiellement endommager les broches du microcontrôleur ou du MOSFET, d'où l'importance de cette diode pour court-circuiter cette tension négative à des niveaux sécurisés. Comme la plupart des diodes de corps ne sont pas conçues pour cette tâche, l'ajout d'une diode Schottky rapide séparée en tant que diode flyback parallèle au moteur serait encore plus sécurisant.

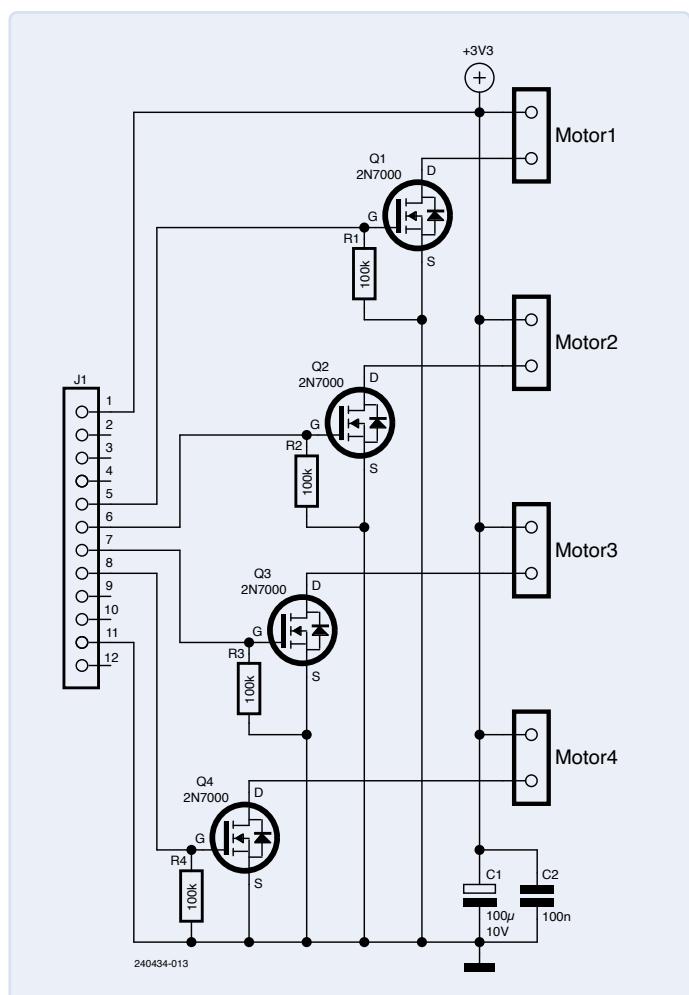


Figure 9. Les condensateurs C1 et C2 lissent la puissance.

Nous avons ajouté une résistance pull-down de  $100\text{ k}\Omega$  entre la grille et la masse de chaque MOSFET. Ces résistances tirent les grilles des MOSFET vers le bas, garantissant qu'aucun moteur ne s'active par erreur si le microcontrôleur n'envoie pas de commande. Il ne s'agit pas d'une précaution, mais d'une nécessité. Lors du démarrage du processeur, la plupart de ses broches sont dans un état de haute impédance, laissant la grille des MOSFET flottante, activant les moteurs de manière aléatoire.

Lorsque les gants sont inutilisés, le processeur entre en mode basse consommation. Cet état désactive la plupart des composants du processeur et interrompt la commande de ses broches. Une simple résistance permet d'obtenir un état OFF fixe lorsqu'aucune broche n'est active.

La valeur de  $100\text{ k}\Omega$  semble élevée, mais ce choix vise à trouver un équilibre entre la consommation de la pile et le rôle de la résistance (tirage vers le bas). Lorsqu'une résistance pull-down est utilisée, il faut fournir davantage de courant, pour la tirer vers le haut en cas de besoin, ce qui crée un appel de courant plus important.

Le reste du circuit est utilisé pour positionner tous les connecteurs JST aux bons emplacements. J'aurais pu utiliser des CMS pour minimiser l'épaisseur, mais les composants traversants rendent le montage plus accessible et donnent du corps au circuit. Les fichiers du circuit imprimé sont disponibles sur la page de ce projet sur Elektor Labs [9], mais vous pouvez le concevoir vous-même.

J'ai commandé une série de dix circuits imprimés personnalisés à PCBWay. Le résultat est excellent et les cartes sont impressionnantes. Puisque nous commutons des charges DC, il est judicieux de torsader les fils reliant la carte de contrôle aux moteurs. Ceci permet de réduire le bruit émis par ces derniers. Pour éviter les problèmes d'interférence électromagnétique, vous pouvez également utiliser de petites billes de ferrite.

## Construction : le logiciel

Voici maintenant le clou du spectacle ! En tant que développeur de logiciels passionné, cette phase du projet où je pouvais enfin coder était particulièrement exaltante pour moi.

L'objectif principal de la conception était : pas de fils encombrants. Cela signifie que vous avez deux gants, tous deux contenant un matériel identique. Selon l'étude de Peter A. Tass, la génération d'impulsions était gérée de la manière suivante :

*Des séquences de stimuli vibratoires (avec une fréquence de vibration de 250 Hz et une durée de 100 ms) ont été délivrées à un rythme de 1,5 Hz, correspondant à un cycle de 667 ms (Tass, 2017 ; Syrkin-Nikolau et al., 2018 ; Pfeifer et al., 2021). Au cours d'une séquence, chaque bout de doigt des doigts un à quatre était stimulé exactement une fois, où les deux mains étaient stimulées en miroir. L'ordre des séquences variait de manière aléatoire. Les intervalles inter-stimulus étaient constants (pour un vCR [vibrotactile coordinated reset] régulier) ou sujets à une gigue modérée (pour un vCR bruyant) »*

En pratique cela signifie que nous avons des cycles de 667 millisecondes, dans lesquels chaque doigt (à l'exception du pouce) est stimulé par une vibration pendant 100 ms. Il reste donc  $667 - (4 \times 100) = 267$  ms d'intervalle entre les stimulations, un temps non uniformément distribué mais modulé pour créer une variation, ou «jigue» Cette gigue est

ensuite appliquée aléatoirement à chaque séquence. De plus, l'ordre de stimulation des doigts varie aléatoirement par séquence, mais tout en maintenant une symétrie parfaite entre les deux mains. De plus, nous avons également dû utiliser un signal PWM pour varier l'intensité de vibrations des moteurs.

Gérer les comportements imprévisibles des gants présente un véritable défi. Ils doivent fonctionner de manière synchronisée et coordonnée. Cela est quasiment impossible sans un moyen de communication entre les deux gants.

Initialement, j'envisageais de connecter les gants à une application pour smartphone via Bluetooth Low Energy (BLE). L'application aurait préparé et envoyé toutes les séquences nécessaires pour une session, déclenchant simultanément le bouton de lecture. Le problème est que le stockage de milliers de séquences nécessaires pour une session de quatre heures exige une mémoire élevée, et le risque de désynchronisation à cause de la dérive était trop élevé.

J'ai donc finalement opté pour une connexion directe entre les gants en utilisant ESP-NOW. Ce protocole de communication sans fil personnalisé est développé par Espressif [10] et pris en charge par la plupart de leurs contrôleurs. Le protocole ressemble au Wifi et utilise le même matériel, mais il est beaucoup plus simple et déterministe. Le plus grand avantage est qu'il ne nécessite pas de point d'accès Wifi - la communication est basée sur les adresses MAC, facilitant ainsi la communication. Lorsque les gants fonctionnent, chaque séquence qu'ils doivent « jouer » sur les moteurs est calculée en amont et envoyée à l'autre gant de manière primaire/secondaire. Les deux gants jouent la séquence et, pendant ce temps, le gant primaire calcule et envoie la séquence suivante juste à temps au gant secondaire, avec une heure de démarrage précise.

Une fois la séquence en cours terminée, les deux gants sont au courant de la séquence suivante et son temps de début exacte. Ils attendent tous deux cet « horodatage » et commencent simultanément à exécuter la nouvelle séquence tout en préparant la séquence suivante. C'est ainsi que les gants gèrent les séquences de manière aléatoire, tout en restant parfaitement synchronisés l'un avec l'autre.

Le gant secondaire calcule également de nouvelles séquences, mais ne les utilise pas s'il ne reçoit pas à temps la nouvelle séquence à exécuter du gant primaire. Cela peut se produire lorsque la communication sur la bande de 2,4 GHz est perturbée par des micro-ondes ou des interférences similaires - une situation courante si vous vous déplacez dans votre cuisine en portant ces gants. En cas d'interférence, les deux gants seront à nouveau synchronisés dans un délai de 700 ms. Quant à la synchronisation des temps de début pour chaque séquence, j'ai envisagé de connecter une horloge en temps réel (RTC) ou un quartz au contrôleur pour créer une source de temps fiable et permanente. Cependant, cela augmenterait le nombre de composants et ne conviendrait pas à ce projet. (Cela pourrait cependant être réalisé en choisissant des CMS au lieu de traversants).

J'ai donc opté pour une solution intermédiaire : les gants n'ont pas besoin de connaître l'heure, mais seulement de se mettre d'accord sur « un » moment, par exemple le nombre de microsecondes écoulées depuis la mise sous tension. C'est cette valeur qui est transmise toutes les secondes par le gant principal au gant secondaire, avec une mesure du temps d'aller-retour (RTT) entre les gants. Le gant secondaire reçoit les données du temps et ajoute la moitié du RTT à ce temps, calibrant ainsi sa propre horloge.



Figure 10. Utilisation de SquareLine pour concevoir l'interface utilisateur.

Après de nombreuses modifications et mises au point, cette méthode (qui est une adaptation du protocole NTP) garantit que les horloges internes des gants sont synchronisées à 320  $\mu$ s près ! Soit une précision de moins d'un tiers de milliseconde, ce qui est suffisante pour atteindre notre objectif.

Nous avons surmonté la plupart des défis techniques. Il ne reste plus qu'à finaliser l'interface utilisateur. Je ne détaillerai pas ici les complexités rencontrées pour développer un nouveau pilote d'affichage et de tactile, mais je souligne que la documentation disponible était insuffisante. Les exemples de code disponibles étaient souvent incomplets ou basés sur des versions obsolètes de frameworks.

Après des semaines de travail intensif sur du code C++ de bas niveau, impliquant un décalage constant de bits et un comptage d'octets, j'ai ressenti le besoin de me donner une pause mentale. Pour l'interface utilisateur, je voulais quelque chose de plus facile, et j'ai donc choisi d'utiliser LVGL (Light and Versatile Embedded Graphics Library) [11], une bibliothèque graphique embarquée complète, idéale pour créer des interfaces tactiles intuitives.

Pour simplifier encore le développement, je me suis tourné vers SquareLine Studio [12], un éditeur WYSIWYG (*what-you-see-is-what-you-get*) qui génère le code de l'interface utilisateur. Vous pouvez voir mon design SquareLine en cours dans la **figure 10**.

Grâce à ces outils, le développement d'une « application logicielle » ressemblait davantage à la création d'un logiciel de bureau. J'ai pu définir tous les aspects techniques, créer des scénarios d'utilisation pour l'interface utilisateur et implémenter différents menus, boutons, écrans et paramètres. Tous ces éléments sont synchronisés entre les gants via le protocole de communication ESP-NOW utilisé.

Le Bluetooth est ainsi disponible, prêt à être utilisé pour connecter les gants à votre smartphone ! Bien que j'aie commencé à développer une application de base, je n'ai pas encore intégré de nombreuses fonctionnalités, car je ne savais pas à ce moment-là si les gants fonctionneraient comme prévu. L'excitation du projet m'a certes emporté.

## Construction : alimentation par piles

C'était une première pour moi d'utiliser des piles pour alimenter l'ESP32. L'ESP32 peut être très gourmand en énergie, j'avais donc besoin de réduire cette consommation. Afin de préserver les piles pendant la période où les gants ne sont pas utilisés, je voulais activer un mode de sommeil prolongé. Pour y parvenir, j'ai pris ces mesures :

- Éteindre le rétroéclairage.
- Éteindre le contrôleur d'écran.
- Régler la puce de l'écran tactile sur un mode de consommation plus faible.
- Mettre le processeur en veille.

Heureusement, en étudiant les schémas du contrôleur Lilygo, j'ai remarqué que les concepteurs avaient optimisé le design pour minimiser le courant de fuite.

L'architecture du contrôleur limite l'utilisation des résistances de tirage (pull-ups et pull-downs). Celles utilisées sont de valeurs élevées, telles que 100 k $\Omega$ . Même le circuit de détection de la tension de la pile, qui utilise un diviseur de tension à résistance, est lié à une broche IO qui peut être désactivée, permettant ainsi de « débrancher » la résistance supérieure du diviseur de tension pour minimiser les fuites à travers ce diviseur. Cela démontre une approche très réfléchie !

L'ESP32 vous permet de mettre hors tension un grand nombre de ce que l'on appelle les « domaines de puissance », ou composants discrets de la puce. Cela permet de réduire encore davantage la consommation d'énergie. Il dispose même d'un coprocesseur ultra-basse consommation (ULP) spécial, permettant d'éteindre complètement le processeur normal, y compris sa mémoire et tous ses composants associés, tout en continuant à détecter les signaux sur certaines broches d'E/S. Grâce à ces astuces, j'ai réussi à réduire la consommation de courant en mode sommeil prolongé à seulement 390  $\mu$ A. Cette faible valeur signifie que les piles pourraient durer des années sans se vider totalement.

Néanmoins, une simple appui sur l'un des boutons suffit pour activer le contrôleur et les gants - ce qui est idéal pour répondre à nos exigences. Les gants surveillent en permanence la tension de la pile. Si cette consommation tombe en dessous d'un certain seuil, les piles sont considérées comme déchargées, et le contrôleur procède à l'arrêt de toutes les fonctionnalités possibles pour économiser l'énergie. La pile peut être rechargée via USB-C.

## Utilisation

L'utilisation des gants est assez simple. Il suffit de les enfiler et d'appuyer soit sur le grand bouton *Play* de l'interface utilisateur, soit sur le bouton matériel supérieur (voir figure 2).

La navigation dans l'interface utilisateur se fait facilement en glissant vers la gauche ou la droite, permettant ainsi d'accéder aux divers éléments tels que les informations sur la session en cours, le temps restant, les sessions précédentes, le niveau de la batterie, la connectivité entre les gants, ainsi que divers prérglages et options disponibles. Pour optimiser la durée de vie de la pile, le rétroéclairage s'éteint automatiquement après 30 secondes, même lorsque les gants sont encore en fonctionnement. Un simple tapotement sur l'écran permet de rallumer le rétroéclairage.

Une fois le minuteur de la session écoulé, les gants s'arrêtent automatiquement, en fonction du prérglage. Ils entrent également en veille profonde automatiquement après cinq minutes d'inactivité, c'est-à-dire lorsqu'ils ne détectent aucune pression sur les boutons. Vous pouvez également forcer cette mise en veille en appuyant sur le bouton matériel inférieur et en le maintenant enfoncé. Les gants s'éteignent alors. Pour les réactiver, il suffit d'appuyer sur le bouton matériel inférieur. Des icônes sur l'écran indiquent le niveau de la pile. Lorsqu'il est temps de recharger, il suffit de brancher un câble de chargeur USB-C sur le côté du dispositif. Le chargement s'interrompt automatiquement une fois la pile pleine.

Si le contrôleur détecte une tension de piles trop faible, il s'éteindra automatiquement et passe en mode de veille pour préserver l'autonomie restante des piles.



Pendant la charge, les gants restent fonctionnels, ce qui permet de les utiliser, durant cette période, par exemple en lisant un livre. Ce port USB-C est également utilisé pour charger un nouveau micrologiciel.

## Regarder vers l'avenir

Ce projet a été une incroyable aventure, et j'ai trouvé chaque étape passionnante et enrichissante.

Envoyer des signaux aléatoires directement dans le cerveau n'est pas une pratique à prendre à la légère. Il faudra encore plusieurs années de recherche pour confirmer la sécurité de cette méthode. Comme ces gants sont basés sur des recherches préliminaires, je n'ai pas le droit de dire s'ils fonctionnent ou non, ou s'ils peuvent être utilisés en toute sécurité. Par conséquent, utilisez ces gants à vos risques et périls et consultez toujours votre neurologue. Ne commencez ou n'arrêtez jamais une forme de médicament ou une autre intervention sans consulter votre médecin ou votre neurologue.

Mais, au moins, ce projet ouvre des perspectives prometteuses. J'espère que ces gants seront disponibles et pourront aider ma tante si son état se détériore.

En outre, il serait formidable que les travaux de Peter A. Tass contribuent à terme à améliorer la qualité de vie des personnes souffrant de la maladie de Parkinson.

Je suis reconnaissant d'avoir pu contribuer, même modestement, à offrir une aide concrète plutôt que de rester impuissant face aux effets dévastateurs de cette maladie. 

240434-04

## À propos de l'auteur

Depuis l'âge de cinq ans, Hans van Essen se passionne pour l'électronique, une vocation inspirée par son grand-père qui lui enseignait les subtilités des tubes à vide, des transistors et des premiers circuits intégrés. À la fin des années 1980, il s'est intéressé à la technologie informatique et au développement de logiciels, ce qui a nourri son intérêt pour le domaine numérique. À 25 ans, Hans a cofondé une société internationale de logiciels prospère, spécialisée dans les solutions commerciales pour la logistique et la gestion d'entrepôts. Aujourd'hui, il développe des solutions intelligentes de bout en bout, qui intègrent tout, du matériel aux logiciels en nuage, tirant parti de son expertise approfondie dans ces deux domaines. Architecte logiciel de profession, l'électronique demeure son hobby préféré. Hans continue d'explorer des moyens de fusionner ses passions pour créer des solutions combinant le matériel et le logiciel pour créer des solutions innovantes et intégrées.



## Produits

- **Carte de développement LILYGO T-Display-S3 ESP32-S3 (avec connecteurs)**  
[www.elektor.fr/20299](http://www.elektor.fr/20299)



## Questions ou commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur ([hans@expaso.nl](mailto:hans@expaso.nl)), ou contactez Elektor ([redaction@elektor.fr](mailto:redaction@elektor.fr)).

## LIENS

- [1] Elektor Labs annonce les gagnants du concours 2024 Project Contest :  
<https://www.elektormagazine.fr/articles/gagnants-du-concours-de-projet-2024>
- [2] Vibrotactile coordinated reset stimulation for the treatment of Parkinson's disease :  
<https://ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8771098>
- [3] NBC Today, "Scientists Develop Glove That Eliminates Parkinson's Tremor" (YouTube) : <https://youtu.be/YEEwbxFT4Bc&t=79s>
- [4] Video : VibroTactile Gloves : <https://youtu.be/RJwAdNKXpX8>
- [5] United Nations — Sustainable Development: The 17 Goals : <https://sdgs.un.org/goals>
- [6] Seeed Studio Mini Vibration Motor 2.0 mm : <https://tinyurl.com/seedminivib>
- [7] Lilygo T-Display-S3 : <https://www.lilygo.cc/products/t-display-s3>
- [8] Types d'accumu 18650 : <https://nkon.nl/blog/protectedunprotectedbattery>
- [9] Fichiers du micrologiciel et du circuit imprimé sur la page de ce projet sur Elektor Labs :  
<https://elektormagazine.fr/labs/vibrotactile-gloves-against-parkinsons-disease>
- [10] ESP-NOW: A wireless communication protocol for quick responses and low-power control :  
<https://espressif.com/en/solutions/low-power-solutions/esp-now>
- [11] LVGL — Light and Versatile Graphics Library : <https://lvgl.io>
- [12] Squareline Studio : <https://squareline.io>

# Rejoignez la communauté Elektor



Devenez membre maintenant !



- accès à l'archive numérique depuis 1978 !
- 8x magazine imprimé Elektor
- 8x magazine numérique (PDF)
- 10 % de remise dans l'e-choppe et des offres exclusives pour les membres
- accès à plus de 5000 fichiers Gerber



Également disponible  
abonnement  
sans papier !



- accès à l'archive numérique d'Elektor
- 10 % de remise dans l'e-choppe
- 8x magazine Elektor (PDF)
- accès à plus de 5000 fichiers Gerber



[www.elektormagazine.fr/membres](http://www.elektormagazine.fr/membres)

**elektor**  
design > share > earn



**MOUSER  
ELECTRONICS**

## Aider les élèves ingénieurs à relever les défis de demain

- Parrainages universitaires
- Tarifs préférentiels
- Ressources éducatives

[mouser.com/educationsales-emea](http://mouser.com/educationsales-emea)

