

Réduire l'utilisation de l'eau sur les pistes d'équitation

un IdO pour surveiller en permanence les niveaux d'humidité et de température du sol

David Cuartielles (Arduino)

Dans le domaine de l'équitation, le maintien de conditions de piste optimales a longtemps été une tâche manuelle nécessitant l'expertise de jardiniers qualifiés, mais tout surveiller, partout et en même temps demeure impossible. Anders Åkerberg, chef de projet au centre équestre de Jägersro, est allé frapper à la porte d'Arduino pour trouver des solutions plus intelligentes.

Le centre équestre de Jägersro, probablement le plus important du sud de la Scandinavie, avait besoin de réduire sa consommation d'eau. Anders nous a contactés pour discuter d'un moyen intelligent d'y parvenir. « Nous souhaitons, bien sûr, rendre notre piste aussi écologique que possible. Actuellement, nous avons un expert qui contrôle l'hippodrome et décide quand il faut recourir au tracteur d'arrosage pour aider à maintenir le bon niveau d'humidité du sol. De nombreuses variables interviennent dans cette décision, depuis les angles des différentes parties de la piste, jusqu'aux différences de température dues à l'incidence du soleil, ou même la façon dont le vent souffle sur la piste. Il y a tout simplement trop de facteurs externes à prendre en compte ». Mais, ce qui semblait être un simple processus d'automatisation a débouché sur un très intéressant projet pour explorer l'utilisation de l'Arduino Portenta H7 comme outil de collecte de données et de prise de décision sur site. Cet article décrit les premières étapes du projet, ainsi que les raisons ayant conduit à la sélection des capteurs pour ce projet. Tous les enseignements présentés ici peuvent s'appliquer à de nombreux autres projets d'IdO, qu'il s'agisse d'hippodromes nécessitant l'utilisation de vrai gazon ou de champs que l'on doit soigneusement irriguer pour la production de légumes.

Contexte

En 2017, à Malmö en Suède, fut prise la décision de construire une nouvelle installation sportive de trot (**figure 1**), en remplacement de l'installation existante qui ne pouvait pas répondre aux attentes des concurrents, des chevaux, des spectateurs, et même de la société, sur ce que devrait être une installation sportive moderne. Le projet prévoit une refonte de l'ensemble de l'installation, qui devrait être prête en 2025. L'équitation est un sport très suivi en Suède et dans toute la Scandinavie. Il y a différents types de courses hippiques : les jockeys peuvent monter directement sur les chevaux ou être assis sur un chariot de course (appelé *sulky*) tiré par un cheval dans ce que

l'on appelle les courses attelées. Quel que soit la discipline, l'hippodrome est le même. Il consiste en une piste de 1000 mètres de long construite avec des matériaux organiques tels que du sable, du gravier et des cailloux de différentes tailles. La qualité de la piste est supervisée par une équipe spécifique qui surveille et corrige constamment son état.

L'un des principaux aspects à prendre en compte est l'humidité de la piste. Pour minimiser l'impact qu'elle aura sur les sabots et les pattes des chevaux, elle ne doit être ni trop humide ni trop sèche. L'effet produit par un gravier correctement arrosé s'appelle l'amorti, qui, en raison du poids des chevaux, transforme le

gravier humide en un mélange de ressort et d'amortisseur. La qualité du sol fait l'objet d'une controverse constante entre les concurrents et le personnel de piste. Actuellement, des appareils portatifs sont utilisés en parallèle avec les observations de surface des experts pour déterminer l'humidité optimale de la piste. L'irrigation se fait à l'aide d'un tracteur dédié équipé d'arroseurs. Cette situation recèle de belles opportunités pour explorer une possible automatisation afin d'aider l'expert de la piste à obtenir plus rapidement de meilleures informations et de garantir une qualité de piste uniforme et prévisible. En théorie, cela permettra également de réduire la consommation d'eau de la piste, grâce à une meilleure précision des emplacements et quantités d'eau nécessaires.

Le problème

Le véritable défi consiste à pouvoir déterminer avec précision la quantité d'eau à utiliser pour chaque section de la piste. La nature même de la piste en est la cause :

- La piste intérieure et les virages ont des inclinaisons différentes (2 degrés contre 18) ;
- Il est impossible de faire en sorte que les couches de gravier à la surface de la piste aient une épaisseur et une composition exactement identiques ;
- Même si nous y parvenions, les chevaux y mettraient fin dès leur première course ;
- L'orientation de la piste lui confère une exposition solaire non uniforme (vous pensez à l'évaporation ?) ;
- Le vent affecte ponctuellement les conditions ;
- Périodiquement, ou sur décision du directeur de piste, la surface est arasée et quelques centimètres de gravier sont enlevés et remplacés.

La solution

Comme vous pouvez l'imaginer, les variables affectant la qualité de la piste sont bien trop nombreuses pour résoudre le problème de l'endroit où arroser la piste et quand utiliser des techniques telles que la vision par ordinateur. Le moyen le plus fiable de savoir où arroser la piste nécessite l'installation d'un réseau de capteurs permanents enfouis sous la couche supérieure de gravier, la plus fine, de la piste. Après avoir collecté les données, il devrait être possible de modéliser la piste et d'utiliser d'autres mécanismes pour déterminer les niveaux d'humidité. Ce projet porte sur cette première étape. Notre objectif est de créer une piste connectée où l'humidité sera calculée en temps réel en plusieurs endroits à la fois.

Notre idée consiste à bâtir un système qui sera utilisé pour surveiller les données quantitatives de la piste (humidité et température) et les corrélérer avec les obser-



vations faites par ses gestionnaires. Comme mentionné plus haut, on s'attend à ce que des informations de capteurs similaires provenant de différents points de la piste donnent lieu à des déterminations de qualité différentes. Il est donc important de trouver comment former un système capable de fournir au gestionnaire de piste des données auxquelles il pourra se référer, et non pas de simples valeurs brutes de capteurs. Dans l'idéal, ce système devrait permettre de réduire le temps nécessaire à la collecte de données le long de la piste, et les décisions pourraient se prendre simplement en regardant une représentation visuelle de celles-ci. Pour Anders, c'était le premier pas vers l'automatisation du système d'arrosage de l'hippodrome et la réduction de la consommation d'eau, tout en améliorant les conditions de la piste en les maintenant aussi uniformes que possible. Pour moi, ce projet représente l'opportunité d'essayer certaines technologies complexes. Et je parle ici de capteurs compliqués et coûteux (entre 150 et 350 € pièce). Pour rédiger cet article, j'ai étudié une famille de capteurs qui existent depuis longtemps, mais qui sont généralement hors de portée pour la plupart d'entre nous. Je présente ici les premières étapes de ce projet afin d'illustrer comment d'autres peuvent suivre une approche similaire. La même technologie pourrait être appliquée dans le domaine de l'agriculture intelligente, de l'entretien des terrains de sport, de la détection de fuites de liquides... en fait, tout type de projet ayant à faire avec l'eau et le sol, quels qu'ils soient.

La solution ultime, qui couvrira l'ensemble de la piste, comportera un nombre de capteurs et de cartes Arduino Portenta H7 qui reste à déterminer. Une partie de la recherche en cours consiste à déterminer la distance qui devra séparer les points de mesure. On ne sait pas non plus si l'on doit mesurer en différents points en travers de la piste ou si, étant donné qu'elle est inclinée vers l'intérieur, un seul point de mesure suffira. En plus, on peut avoir besoin de capteurs avec des câbles jusqu'à 70 mètres de long, mais cela les rend encore plus chers, car ils doivent être calibrés manuellement en usine, et ils ne sont généralement pas faits pour supporter des câbles aussi longs.

▲
Figure 1. Zone pour la nouvelle piste de Jägersro. (Source : Jägersro Hästcenter)

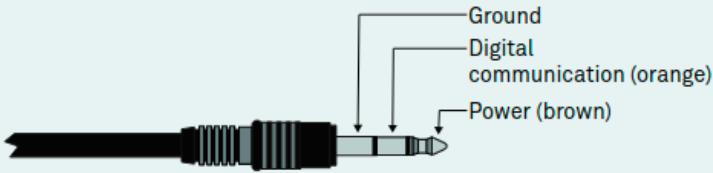


Figure 2a. Connecteur jack. (Source : METER Group, TEROS 11 Integrator Guide)

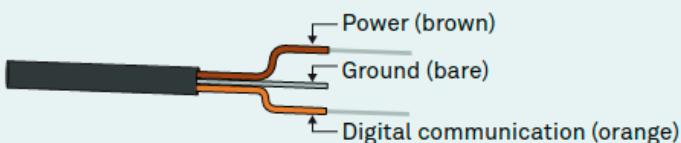


Figure 2b. Fils dénudés et étamés. (Source : METER Group, TEROS 11 Integrator Guide)

Tableau 1. Comparatif des différents capteurs étudiés.

Fonction	TEROS 10	TEROS 11	TEROS 21
Résolution	0.001 m ³ /m ³	0.001 m ³ /m ³	
Température	-40 ... 60 °C	-40 ... 60 °C	-40 ... 60 °C
Mesures	humidité	humidité, température	potentiel hydrique, température
Capteur analogique	1 ... 2.5 V	1 ... 2.5 V	
Protocole de communication	analog out	série DDI ou SDI-12	série DDI ou SDI-12
Influence du volume	430 ml	1010 ml	
Fréquence	70 MHz	70 MHz	70 MHz
Tension	3 ... 15 VDC	3 ... 15 VDC	3.6 ... 15 VDC

Potentiel de l'eau

Un concept pertinent que j'ai découvert au cours de la recherche préliminaire pour ce projet est le « potentiel de l'eau ». Pour mieux comprendre ce que cela signifie, il faut penser en termes de thermodynamique. L'excès de chaleur circule toujours de manière à égaliser la température de deux surfaces en contact. Le potentiel hydrique peut être considéré de la même manière : l'eau s'écoule des zones à fort potentiel hydrique vers celles à faible potentiel. De ce point de vue, nous ne pouvons pas mesurer le potentiel hydrique comme une quantité absolue – il doit être interprété comme une quantité relative. L'eau pure fournit la valeur de référence pour ce potentiel. La présence de divers solvants dans l'eau, ou la répartition de l'eau dans le sol, entraîne une modification du potentiel hydrique. Donc, si vous êtes sur le point de vous plonger dans les fiches techniques d'un capteur d'humidité du sol haut de gamme, il est important de garder cela à l'esprit.

Les capteurs

Pour cet article, j'ai comparé quelques capteurs de la famille TEROS de METER Group. Ces capteurs existent

depuis longtemps (la société s'appelait auparavant Decagon). Ce sont des capteurs numériques – ils sont équipés d'un microcontrôleur qui prend des mesures et renvoie l'information à un autre appareil, sous forme analogique ou numérique. La plupart des entreprises qui vendent ce type de capteurs proposent également des enregistreurs de données portatifs à utiliser sur le terrain. On peut donc trouver les capteurs avec un connecteur jack pour faciliter la lecture, ou avec des extrémités dénudées soigneusement étamées, comme le montrent les **figures 2a** et **2b**.

J'imagine que la plupart des lecteurs connaissent les capteurs d'humidité du sol bon marché, qui mesurent soit la conductivité du sol, soit sa capacité. Ils se présentent sous la forme d'une lame avec entre une et trois pointes, et renvoient un signal qui peut être lu simplement sur une entrée analogique d'une carte à microcontrôleur. Ces capteurs bon marché sont parfaits pour une utilisation en intérieur et pour les projets où l'on peut facilement les remplacer en cas de panne, mais les enterrer et attendre d'eux qu'ils survivent à des températures hivernales négatives et à une traction mécanique permanente due au déplacement du gravier ne paraît pas raisonnable.

À l'extrême plus professionnelle du spectre, nous trouvons les capteurs que j'ai choisi d'évaluer. Il existe deux familles différentes de capteurs : ceux à terminaison métallique et ceux utilisant la technologie piézoélectrique. Le **tableau 1** présente quelques caractéristiques de base de ces capteurs, pour vous donner une idée de leur fonctionnement. Je vous renvoie aux références de leurs fiches techniques pour plus d'informations.

Les capteurs TEROS 10 (**figure 3**) et TEROS 11 (**figure 4**) utilisent la même technologie pour le calcul de l'humidité, et sont donc identiques en ce qui concerne leurs possibilités, à l'exception de la surface qu'ils peuvent couvrir (appelée influence volumique), qui est plus que doublée pour le TEROS 11. Comme vous pouvez le voir sur les photos des capteurs, ces deux premiers appareils semblent identiques, à part le fait que l'un a deux broches et l'autre trois. La troisième broche du TEROS 11 est un thermocouple permettant de mesurer la température du sol. C'est une grande différence entre les deux capteurs, et cela affecte également la façon dont les données sont envoyées au microcontrôleur. Le TEROS 10 envoie un signal analogique brut, qui peut être lu directement par une carte Arduino en utilisant la fonction `analogRead()`. Je l'ai testé en connectant simplement les fils d'alimentation/masse/signal du capteur aux broches de ma BoB Portenta. L'alimentation du capteur en 3V3 était suffisante pour qu'il fonctionne, malgré le câble de 5 m de long entre le capteur et mon Portenta. De leur côté, les TEROS 11



et TEROS 21 (**figure 5**) peuvent fournir plus d'un type de valeur (humidité et température pour les entrées de gamme), il est donc nécessaire d'implémenter un protocole numérique pour la communication avec les capteurs. C'est un avantage, car il est maintenant possible de configurer les capteurs pour qu'ils communiquent en utilisant le SDI-12, un type spécifique de technologie de bus (nous y reviendrons plus tard). C'est également la raison pour laquelle les TEROS 11 et TEROS 21 ont besoin de tensions plus élevées pour fonctionner. Lors de mes tests, j'ai dû utiliser une alimentation externe de 12 V pour m'assurer que les capteurs fonctionnaient comme prévu (**figure 6**).

DDI vs SDI-12

En utilisant SDI-12 (*Serial Digital Interface at 1200 Baud*), il est possible de connecter plusieurs capteurs à 1200 bps en parallèle et de lire des informations à partir de ceux-ci en utilisant des commandes AT spéciales, lisibles par un humain (voir le site de SDI-12 pour plus d'informations [5]). De plus, ces capteurs ont implémenté une procédure en cas d'incident appelée DDI-Serial, qui oblige le capteur à envoyer une chaîne de texte sur le port de communication lorsqu'il redémarre. La **figure 7** montre une capture d'écran du terminal *Serial Monitor* d'Arduino recevant des informations pendant les multiples cycles d'alimentation du capteur. Dans ce cas, je venais de jeter quelques glaçons dans un récipient contenant de l'eau, et vous pouvez voir qu'on peut constater que la valeur d'humidité reste constante alors que la température baisse. Les derniers caractères à la fin de chaque ligne sont l'identifiant spécifique du capteur, l'octet de somme de contrôle, etc. Par conséquent, une façon possible de réaliser ce projet avec un TEROS 11 ou TEROS 21 est déjà résolue en utilisant les rafales de données DDI après chaque cycle d'alimentation du capteur. Il me suffirait de mettre en place une carte où les différentes broches de réception pourraient être reliées entre elles et d'avoir différents MOSFET pour alimenter les capteurs séparément. Je devrais également vérifier l'impédance et calculer combien de capteurs je pourrai avoir simultanément et s'il faudra une sorte de pilote. DDI et SDI-12 sont tous deux des protocoles de communication série 7N1 à 1 fil. On peut trouver une bibliothèque série complète bien documentée et maintenue pour les cartes Arduino basées sur AVR [6], mais elle utilise la bibliothèque *SoftwareSerial* d'Arduino, ainsi que des interruptions matérielles pour s'assurer qu'elle reçoit les signaux correctement. La bibliothèque ne nécessite qu'un minimum de matériel pour se connecter au capteur. Et comme *SoftwareSerial* est en semi-duplex, vous pouvez connecter directement le câble de données du capteur à une broche, et cela



Figure 3. Capteur TEROS 10.
(Source : Kristoffer Engdahl / Arduino)



Figure 4. Capteur TEROS 11.
(Source : Kristoffer Engdahl / Arduino)



Figure 5. Capteur TEROS 21.
(Source : Kristoffer Engdahl / Arduino)



Figure 6. Configuration expérimentale.
(Source : Kristoffer Engdahl / Arduino)

The screenshot shows the Arduino Serial Monitor window titled 'Adev/ttyACM0'. It displays a series of data lines representing DDI messages from a TEROS 11 sensor. The messages are timestamped and include various binary values and characters. For example:

```

1825.8 23.1h8d
1821.1 23.1h-<
1823.7 23.1h5A
1821.6 23.1h2a
3243.8 23.2h5@
3253.6 23.2h4K
3257.8 23.2h:[
3256.8 23.1h8B
2862.0 22.1h1:
2849.8 22.0h=N
2848.5 21.8h@:
2846.8 21.5h>@
2850.0 21.3h/J
2845.3 21.1h45
2849.6 20.8hAk
2860.4 19.8h@f
2856.7 19.5hEh
2854.9 19.2hB6
2857.2 18.9hDE
2852.4 18.6h>0
2857.2 18.3h>V
2855.7 18.1h?I
2850.8 17.9hBQ
2853.8 17.6hBW
2847.4 17.2h=f
2843.9 16.8hCN
2847.0 16.6h<C
2845.9 16.4hAR
2843.8 15.3h<T
2839.8 14.2h?P
2841.4 13.9h:V
2841.7 13.4h8`
```

At the bottom of the monitor window, there are buttons for 'Autoscroll', 'Mostrar marca temporal' (Show timestamp), 'Sin ajuste de linea' (No line adjustment), '1200 baudio' (Baud rate), and 'Limpiar salida' (Clear output).

Figure 7. Le moniteur série de l'Arduino affichant les messages DDI d'un TEROS 11.

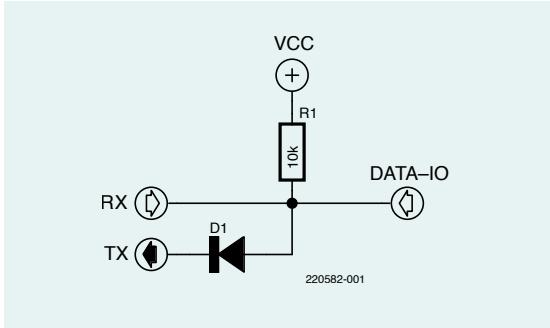


Figure 8. Convertisseur série deux fils à un fil.

fonctionnera (tant que vous avez une carte 3V3, ou sinon il faudra une conversion de tension pour protéger le capteur). Portenta n'ayant aucun problème avec les ports série matériels, nous n'utiliserons pas une implémentation de `SoftwareSerial` (et parce que nous compilons sous mbedOS, qui ne fonctionne pas bien avec les micrologiciels pilotés par des interruptions). Dans mon cas, j'ai utilisé l'astuce d'utiliser un port série matériel (broches 13/14 sur le Portenta H7), avec TX connecté via une diode à une broche RX avec résistance de rappel. C'est une astuce bien connue qui devrait fonctionner dans ce cas (NDLR : c'est le cas, mais seulement pour la réception, pas pour l'émission). La **figure 8** montre le schéma de la conversion 2 fils vers 1 fil. Par conséquent, la prochaine étape pour moi, maintenant que je dispose d'une communication DDI, est de mettre en œuvre un pilote matériel pour permettre l'envoi de requêtes de données aux capteurs, prenant ainsi en charge la norme SDI-12. Cela me fournira un second moyen d'obtenir des informations.

Mise sous tension des capteurs

Toutes les fiches techniques de ces capteurs expliquent qu'il faut les allumer brièvement, juste pour lire les données, puis de les éteindre. Les raisons en sont à la fois la réduction de la consommation d'énergie et la prolongation de la durée de vie de l'électronique qu'ils contiennent. En effet, les lectures peuvent être compromises si les capteurs sont laissés allumés pendant de longues périodes. Cela s'applique aux trois capteurs testés. Ce concept de cycle d'alimentation implique que je devrai inclure des MOSFET pour activer et désactiver chacun des capteurs – ce que j'avais déjà prévu de faire comme moyen de récupérer les informations via DDI. Comme j'alimente les capteurs en 12 V, je peux chercher des MOSFET relativement puissants (comme l'IRFZ-24, l'un de mes préférés) qui me permettraient de réutiliser la carte que je devrai concevoir pour d'autres situations.

Choisir le bon capteur

Il est clair pour moi que j'ai besoin d'informations sur la température et pas seulement sur l'humidité du sol, donc le TEROS 10 n'est pas une option. Après quelques tests initiaux en laboratoire, le TEROS 11 m'a donné une meilleure impression en termes de robustesse mécanique et d'étanchéité. Les capteurs devront être enterrés dans du gravier, et je m'attends à ce qu'ils soient en contact direct avec l'eau, donc le TEROS 11 semble également meilleur de ce point de vue. Cependant, je ne peux pas me faire une opinion sans une expérience de terrain. J'ai l'intention d'enterrer un couple de TEROS 11 et de TEROS 21 dans la piste pendant quelques mois pour avoir une idée de leur résistance. Si le prix était un facteur limitatif (il pourrait l'être, plus tard dans le processus), le TEROS 21 coûte plus de 350 € l'unité – une raison plus que suffisante pour ne pas le choisir. Le TEROS 11 coûte un peu plus de la moitié de ce prix. Si je devais placer un groupe de trois capteurs tous les 10 m sur la voie, j'aurais besoin de 300 capteurs. Je laisse au lecteur le soin de faire le calcul de ce que cela représenterait, rien que pour les capteurs.

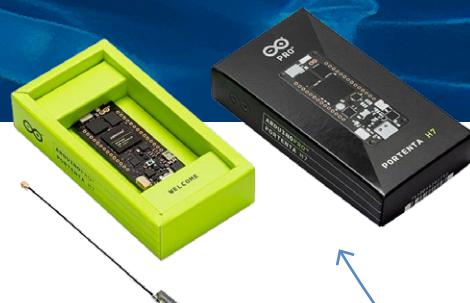
Les prochaines étapes

Ce projet est loin d'être terminé. Je travaille actuellement sur la conception d'un support pour le BoB Portenta qui accueillera l'entrée d'alimentation pour les capteurs, les MOSFET pour cybler l'alimentation, et les pilotes pour la communication série à 1 fil. Une fois que tout cela sera en place, je choisirai une alimentation 12 V robuste, un boîtier ABS standard, et je l'installera sur place pour sauvegarder les données



sur une carte SD et les transmettre par wifi à l'Arduino Cloud (il y a une connexion wifi sur la piste). Dans quelques mois, je saurai enfin quels capteurs sont les meilleurs. Si vous voulez aussi savoir, suivez mes progrès sur le blog Arduino [7], où je compte publier les différentes étapes du processus au fur et à mesure de mes découvertes. ↵

(220582-04) — VF : Denis Lafourcade

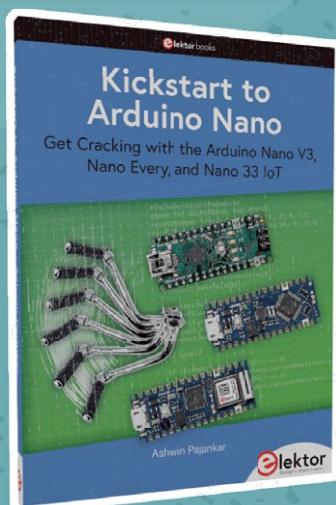


Produits

- **Arduino Portenta H7 Development Board (SKU 19351)**
www.elektor.fr/19351

LIENS

- [1] Jägersro Hästcenter : <https://jagersrohastcenter.se/>
- [2] Manuel du METER TEROS 10 : http://publications.metergroup.com/Manuals/20788_TEROS10_Manual_Web.pdf
- [3] Manuel des METER TEROS 11/12 : [https://publications.metergroup.com/Manuals/20587_TEROS11-12_Manual_Web.pdf](http://publications.metergroup.com/Manuals/20587_TEROS11-12_Manual_Web.pdf)
- [4] Manuel du METER TEROS 21 GEN 2 : [https://publications.metergroup.com/Manuals/20854_TEROS21_Gen2_Manual_Web.pdf](http://publications.metergroup.com/Manuals/20854_TEROS21_Gen2_Manual_Web.pdf)
- [5] Groupe de soutien SDI-12 : <https://sdi-12.org>
- [6] Bibliothèque Arduino-SDI-12 sur GitHub : <https://github.com/EnviroDIY/Arduino-SDI-12>
- [7] Blog Arduino : <https://blog.arduino.cc/>



Kickstart to Arduino Nano

Ce livre constitue la première étape pour les novices et les amateurs de microcontrôleurs qui souhaitent s'initier à la programmation Arduino. Il suit une approche pas à pas pour expliquer les concepts et le fonctionnement des choses. Chaque concept est suivi d'un schéma de circuit et d'exemples de code. Viennent ensuite des explications détaillées sur la syntaxe et la logique utilisées. En suivant de près ces concepts, vous deviendrez plus à l'aise avec la construction de circuits.

www.elektor.fr/20241

