



## Université d'Été Espace Éducation

Formation aux sciences et applications spatiales pour les enseignants



# L'Espace en Tête

En distanciel  
7 > 9 Juillet 2021

[education.jeunesse@cnes.fr](mailto:education.jeunesse@cnes.fr)  
[www.cnes.fr](http://www.cnes.fr)



## Atelier co-disciplinaire SII – SPC

# AC 5

## Les robots martiens

Marianne BERTHONNEAU, Éducation Nationale (SII)  
Stéphane BOUZET, Éducation Nationale (SII)  
Jean-Claude CASSAGNEAU, Éducation Nationale (PC)  
William GAMBAZZA, Éducation Nationale (PC & NSI)

---

## Résumé

Après le succès scientifique et médiatique de Curiosity depuis 2012, la Nasa a lancé le projet Mars 2020 avec un lancement du rover Perseverance le 30 juillet 2020 et un atterrissage sur Mars le 18 février 2021.

Cet atelier vous propose de vous plonger dans la réalisation d'un mini rover à partir des moyens disponibles dans une salle de classe. En partant d'un objectif de mesures souhaitées pour arriver à la mise en œuvre des capteurs et leur programmation ainsi que la récolte et l'exploitation des données. Les deux disciplines apporteront ainsi les regards complémentaires nécessaires à une telle mission. Que vous soyez novice ou expert, venez participer à cette aventure...

*Nota bene : ce cahier de TD est une version allégée de l'atelier complet du fait de son déroulement à distance*

---

## Plan de l'atelier

1. Les robots martiens, un peu d'histoire.....	3
a. Se poser intact !.....	3
b. Se déplacer .....	3
c. À la recherche de l'eau et de la vie.....	4
d. Changement d'échelle.....	5
2. Utilisation d'un microcontrôleur, exemple d'Arduino.....	9
ANNEXES.....	18
RÉPONSES.....	20
RESSOURCES.....	24

# 1. Les robots martiens, un peu d'histoire

Cela fait 45 ans que les premiers robots ont atteint la surface martienne. Une période au cours de laquelle les technologies de leurs successeurs n'ont eu de cesse d'évoluer pour permettre des mesures toujours plus précises dans des domaines toujours plus variés de la science. En 2021, deux robots ont touché le sol martien : **Perseverance**, développé par la NASA dans son programme Mars 2020 et **Zhurong** le rover de la mission **Tianwen-1** développé par la CNSA.

## a. Se poser intact !

L'union soviétique pose la sonde **Mars 3<sup>@</sup>** (URSS), première sonde à atteindre le sol le 2 décembre 1971 dans le *Cratère de Ptolémée*. Mais son instrumentation cessera de fonctionner au bout de 20,0s probablement du fait d'une tempête de poussière qui se déroulait alors. Ce lander disposait déjà d'un rover.

Masse :	358 kg
Dimensions :	1,2 m de diamètre

Le 20 juillet 1976, le lander de la sonde **Viking 1<sup>@</sup>** (NASA) se pose intact sur Mars, à l'ouest de *Chryse Planitia*. Équipé de deux générateurs au plutonium 238 lui fournissant 30 W de courant continu à 4,4 V.

Masse :	572 kg
Dimensions :	Corps hexagonal avec faces de 1,09 m et 0,56 m alternativement Emprise au sol avec 3 pieds formant un triangle équilatéral de 2,21 m de côté
Puissance :	70 W



Mars 3 Lander  
[Memorial Museum of Cosmonautics](#)  
Moscow



Crédits : NASA

L'objectif de la mission était de réaliser des études biologiques, des mesures physico-chimiques, météorologiques, sismologiques, magnétiques ainsi que les propriétés physiques et l'apparence de la surface et de l'atmosphère.

Le 3 septembre de la même année, c'est autour de **Viking 2<sup>@</sup>** (NASA), jumeau de Viking 1, de poser ces pattes sur le sol martien, à l'ouest d'*Utopia Planitia*. Il est doté des mêmes générateurs que son jumeau et des mêmes instruments de mesure : 2 caméras à 360° cylindriques, un bras à prélèvement d'échantillons emportant un capteur de température et un capteur de champ magnétique. Une station météorologique avec un capteur de température, un capteur de pression, un anémomètre et sa girouette, un sismomètre, un chromatographe en phase gazeuse, un spectromètre de masse, un spectromètre à rayons X. Ces deux robots jumeaux prendront des mesures pendant 6 années terrestres.

## b. Se déplacer ...

S'ensuit une longue pause de 20 ans pendant lesquels diverses sondes seront envoyées pour se placer en orbite autour de Mars et réaliser toutes sortes de mesures permettant de mieux connaître Mars et de préparer l'arrivée des landers et rovers suivants.

Le retour au sol se fera avec la sonde **Mars Pathfinder<sup>@</sup>** (NASA) qui se posera le 4 juillet 1997 près de *Ares Vallis*, toujours dans la région de *Chryse Planitia*. L'atterrissage se fera de façon inédite et tout aussi spectaculaire grâce à une enveloppe innovante de coussins gonflables.



Crédits : NASA

Masse :	463 kg / Pathfinder dont 10 kg / Sojourner
Dimensions :	2,75 m d'envergure et 1,5 m de hauteur / Pathfinder 65 cm×48 cm×30 cm / Sojourner
Puissance :	35 W / Pathfinder & 13 W / Sojourner

Cette sonde dispose d'un spectromètre à particules Alpha et à rayons X, de 3 caméras, d'une station météorologique pour mesurer la Pression, la Température (4 thermocouples précis à 0,1 °C), la vitesse et la direction du vent (3 manches à air, à 3 hauteurs du mat, pris en photo).



Crédits : NASA

Cette sonde embarque également un mini rover, appelé **Sojourner**, doté de 6 roues qui se déplacera à 1 cm/s. Ses panneaux solaires lui permettent de disposer de ~13 à 16 watts de puissance. Il dispose également de 5 lasers lui permettant de déterminer de façon autonome ses déplacements. Il ne dispose pas de beaucoup d'instruments, car il est surtout un démonstrateur de communication avec le lander et l'orbiteur pour les missions suivantes qui seront plus ambitieuses. L'ordinateur de bord du lander possède une architecture 32-bits, 4 Mo de RAM et 64 Mo de mémoire de masse.



Crédits : NASA

### c. À la recherche de l'eau et de la vie

Après **Pathfinder**, la NASA va essayer quelques échecs de missions (*Mars Observer*, *Mars Climate Orbiter* & *Mars Polar Lander*). C'est au tout début du 21<sup>e</sup> siècle que la NASA lance alors le programme **Mars Exploration Rover** avec la conception de deux rovers jumeaux **Spirit** et **Opportunity**.

Le rover **Spirit**<sup>®</sup> se posera avec succès sur Mars en janvier 2004 dans le **cratère Gusev**. Il a pour mission de déterminer si la vie a pu apparaître sur cette planète, notamment à l'aide mesures géologiques.

Masse :	180 kg
Dimensions :	1,5 m de haut×2,3 m de large×1,6 m de long
Puissance :	140 W maximum / panneaux solaires

Pour remplir sa mission, il dispose d'une caméra panoramique et de 2 caméras de navigation montées sur un mât culminant à 1,40 m du sol. Sur le mât, on trouve aussi un mini spectromètre d'émission thermique, un spectromètre à particules Alpha et rayons X, un spectromètre Mossbauer ([détails](#)), un imageur microscopique ainsi qu'un outil d'abrasion. Son ordinateur de bord fonctionne avec un processeur de 20 MHz disposant de 128 Mo de DRAM, 3 Mo de EEPROM et 256 Mo de mémoire flash.

Le rover **Opportunity**<sup>®</sup> est l'exact jumeau du **Spirit**. Il s'est également posé sur Mars dans la région de **Terra Meridiani** en janvier 2004 avec le même objectif de mission.



Crédits : NASA

Quatre ans plus tard, c'est au tour de la mission **Phoenix**<sup>®</sup> de se poser le 25 mai 2008 dans la région de **Vastitas Borealis** près de la calotte polaire Nord. Le mode d'atterrissage à l'aide de rétro fusées constituera une première et un banc d'essai pour les futures missions. Cette fois, aucun rover n'est présent et l'objectif est de réaliser des analyses du sol et de l'atmosphère en rapport avec la découverte d'eau sur la calotte polaire par l'orbiteur **Mars Odyssey** en mai 2002.

Masse :	410 kg dont 55 kg d'instruments
Dimensions :	1,5 m de diamètre et 53 cm de haut (2,2 m/mat)
Puissance :	Deux batteries de 25 ampère-heure chacune



Crédits : NASA – Vue d'artiste

Du côté équipements scientifiques, ce lander dispose d'un bras robotique de 2,35 m de long pour creuser jusqu'à 50 cm de profondeur, un imageur stéréo couleur capable d'observer 12 longueurs d'onde grâce à une roue à filtre, un analyseur de gaz muni de petits fours pouvant chauffer jusqu'à 1 000 °C et d'un spectromètre de masse, un analyseur microscopique et électrochimique ainsi qu'une station météorologique (pression, température et lidar pour l'analyse de l'atmosphère)

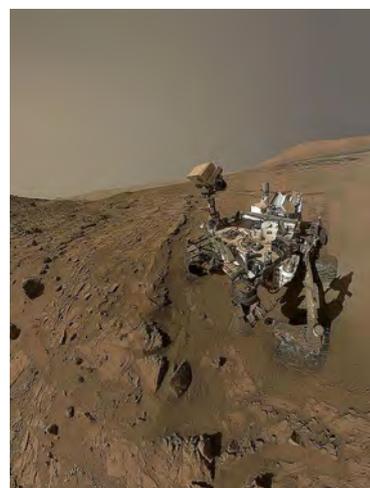
## d. Changement d'échelle

Le 6 août 2012, un nouveau type de robot se pose dans le **cratère Gale** sur Mars après un périple de plus de 8 mois. Il s'agit de la mission **Mars Science Laboratory**, plus connue sous le nom de **Curiosity**<sup>®</sup>. Les ambitions technologiques sont déjà très claires dans les objectifs de la mission :

- x déterminer si des conditions propices à la vie ont pu exister
- x caractériser le climat et la géologie
- x préparer l'exploration humaine

Pour remplir ces missions, c'est un véritable mini laboratoire qui est envoyé, doté de nombreux instruments de grande précision, capable de se déplacer sur de plus grandes distances, de prélever et analyser des échantillons et d'analyser à distance la composition de roches.

Masse :	899 kg !!
Dimensions :	2,8 m de long×2,7 m de large et 2,2 m de haut (mât compris) Doté d'un bras robotique de 2,2 m
Puissance :	125 W (générateur à radio-isotope)



Crédits : NASA

Ce sont pas moins de 10 instruments qui sont embarqués pour une charge scientifique utile proche des 75 kg.

- x MAHLI : Caméra microscope permettant des prises de vues avec identification permise entre 1 µm et 1 cm et mise au point de 20,5 mm à l'infini.
- x MASTCAM : ensemble de 2 caméras, situées au sommet du mât et permettant des analyses géologiques et topographiques de l'environnement, disposant de filtres allant de 440 nm à 1035 nm.
- x MARDI : caméra couleur placée sous le châssis, principalement utilisée lors de la descente.
- x CHEMCAM : développé conjointement par le Los Alamos National Laboratory et sous la maîtrise d'œuvre de l'IRAP. Véritable innovation, il permet de réaliser des analyses spectroscopiques (entre 250-800 nm) induites par ablation laser (1 GW/cm<sup>2</sup>) à une distance allant de 2 à 9 m ! —

- x APXS : un spectromètre à rayons X, situé sur le porte-outil du bras articulé.
- x CHEMIN : analyse minéralogique d'échantillons de roches par diffraction X et par fluorescence des rayons X, logé dans la partie avant du corps du rover
- x SAM : un véritable mini laboratoire contenant un chromatographe en phase gazeuse, un spectromètre de masse et un spectromètre isotopique laser. Le tout alimenté par tout un système de collecte, préparation et manipulation des échantillons collectés. Il est situé dans la partie avant du rover
- x RAD : un télescope à particules chargées comportant trois détecteurs plans utilisant des diodes PIN sur support silicium, un calorimètre à base de iodure de césium et un scintillateur plastique sensible aux neutrons. Tout cela permettant d'analyser les rayonnements solaires et cosmiques atteignant le sol martien.
- x DAN : un détecteur actif et passif de neutrons pour analyser l'hydrogène présent dans le sol.
- x REMS : une station météorologique permettant de mesurer la Pression, la Température du sol et de l'atmosphère, l'humidité, les radiations UV reçues, la vitesse et direction du vent. Réparties en différents capteurs placés à différents endroits du rover.

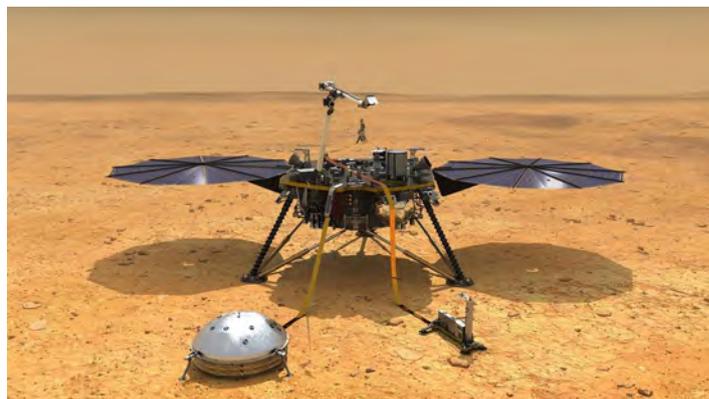
Tant par la taille, l'instrumentation que le mode d'atterrissage avec rétrofusées et filins, **Curiosity** a marqué un tournant dans l'exploration martienne. À date de la rédaction de ce dossier, ce rover est toujours en activité après avoir pourtant parcouru plus de 25 km sur la surface martienne !

Le 26 novembre 2018, c'est le tour du lander **Insight**® de se poser dans la plaine **Elysium Planitia**. C'est l'une des missions du programme Discovery® de la NASA qui a pour but l'exploration robotisée du Système solaire à l'aide de missions plus fréquentes, moins coûteuses et plus performantes.

Masse :	360 kg dont 50 kg d'instruments scientifiques
Dimensions :	6 m de diamètre (panneaux solaires déployés) pour 80 à 100 cm de haut
Puissance :	200 à 700 W fournis par les panneaux selon l'éclairement. Deux batteries de 25 Ah

La mission de ce lander est l'étude géologique de la planète Mars. Pour ce faire, il embarque notamment :

- x SEIS® : un sismomètre à 3 axes, développé par le CNES en partenariat avec l'Institut de Physique du Globe de Paris, SODERN (groupe EADS), l'Institut Fédéral Suisse de Technologie, le Max Planck Institute for Solar System Research, l'Imperial College et le Jet Propulsion Laboratory.
- x HP3 : un capteur de flux de chaleur, fourni par la DLR (agence spatiale allemande), qui devait s'enfoncer jusqu'à 5 m de profondeur dans le sol. Permettant ainsi de mesurer et surveiller le gradient de température dans le sol. Malheureusement, en janvier 2021, la NASA a déclaré l'instrument "mort" après avoir tenté, depuis mars 2019, de le remettre en fonctionnement suite à un premier forage échoué.
- x APSS : Station météorologique (Température, Pression, Vent, champ magnétique)
- x IDS : bras robotisé de déploiement des instruments SEIS et HP3
- x IDC : une caméra identique aux NavCams précédentes.



Crédits : NASA

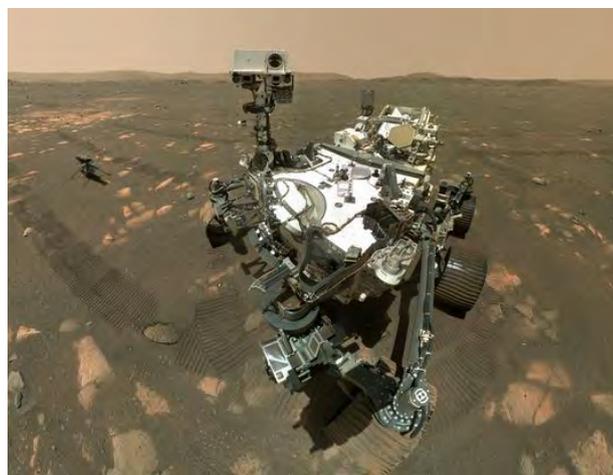
Actuellement le lander est toujours opérationnel, mais Mars approche de son aphélie et la baisse de rayonnement solaire va l'obliger à concentrer son énergie sur son maintien thermique et mettre en sommeil les instruments scientifiques.

Le 30 juillet 2020, une mission appelée Mars 2020 décolle de Cap Canaveral, première étape d'un programme ambitieux et inédit de collecte et retour d'échantillons de Mars. Cet objectif va nécessiter la conception de pas moins de 4 robots pour collecter, récupérer, renvoyer et ramener sur Terre les échantillons.

Le premier d'entre eux, nommé **Perseverance**<sup>®</sup>, a atterri comme prévu dans le **cratère Jezero** le 18 février 2021 grâce à une amélioration du système utilisé pour **Curiosity** lui permettant d'ajuster son lieu d'atterrissage lors de la dernière phase de la descente.

La plateforme utilisée est très proche de celle de Curiosity :

Masse :	899 kg !!
Dimensions :	3 m de long×2,7 m de large et 2,2 m de haut (mât compris) Doté d'un bras robotique de 2,2 m
Puissance :	120 W (générateur à radio-isotope PuO <sub>2</sub> )



Crédits : NASA

Les instruments scientifiques :

- x MASTCAM-Z : Caméras couleur de résolution 150 µm à 7,4 mm pour des images 3D et des vidéos du sol et du ciel. Elles sont situées de part et d'autre de la tête de mât.
- x MEDA : Station météorologique avec mesure des températures, pression atmosphérique, humidité, taille et quantité de poussières, vitesse et directions du vent, rayonnement infrarouge.
- x PIXL : Spectromètre à rayons X pour étudier la composition chimique des roches, situé au bout du bras articulé.
- x RIMFAX : un radar permettant l'analyse de la structure géologique du sous-sol.
- x SHERLOC : Spectromètre laser et caméra pour la détection de minéraux, molécules organiques et signatures de micro-organismes.
- x SUPERCAM : Spectromètre laser (1064 nm, portée de 7 m) et caméra (240 nm à 850 nm, résolution de 0,09 à 0,30 nm) placés en haut du mât, successeur plus évolué de CHEMCAM. Il permet l'analyse de la composition chimique des roches et sols rencontrés. Il peut aussi réaliser de la spectroscopie Raman avec un laser à 532 nm et de la spectroscopie infrarouge de réflectance (400-900 nm et 1,3-1,6 µm) grâce à la lumière réfléchiée par l'éclairage naturel du terrain. Il est également muni d'un microphone pour écouter les sons lors des impacts du laser et d'environ 40 cibles d'étalonnage.
- x MOXIE : Expérience de production d'oxygène à partir de l'atmosphère martienne

Une autre des grandes nouveautés de ce rover est d'avoir emporté avec lui un drone, appelé **Ingenuity**<sup>®</sup>, afin de tester la faisabilité et le potentiel de ce type de technologies du fait de l'atmosphère ténue de Mars et de sa gravité plus faible d'un tiers que celle de la Terre. Succès avec un premier vol du drone le 19 avril 2021 !

Pour finir, à date de rédaction du rapport, le dernier rover à s'être posé sur Mars est dénommé **Zhurong@**.

Déposé dans la plaine d'**Utopia Planitia** grâce au lander **Tianwen-1@** dont l'atterrissage s'est aussi fait à l'aide de rétrofusées. L'objectif annoncé consiste à réaliser une cartographie de la morphologie et de la structure géologique et à rechercher des traces d'eau sous forme de glace.



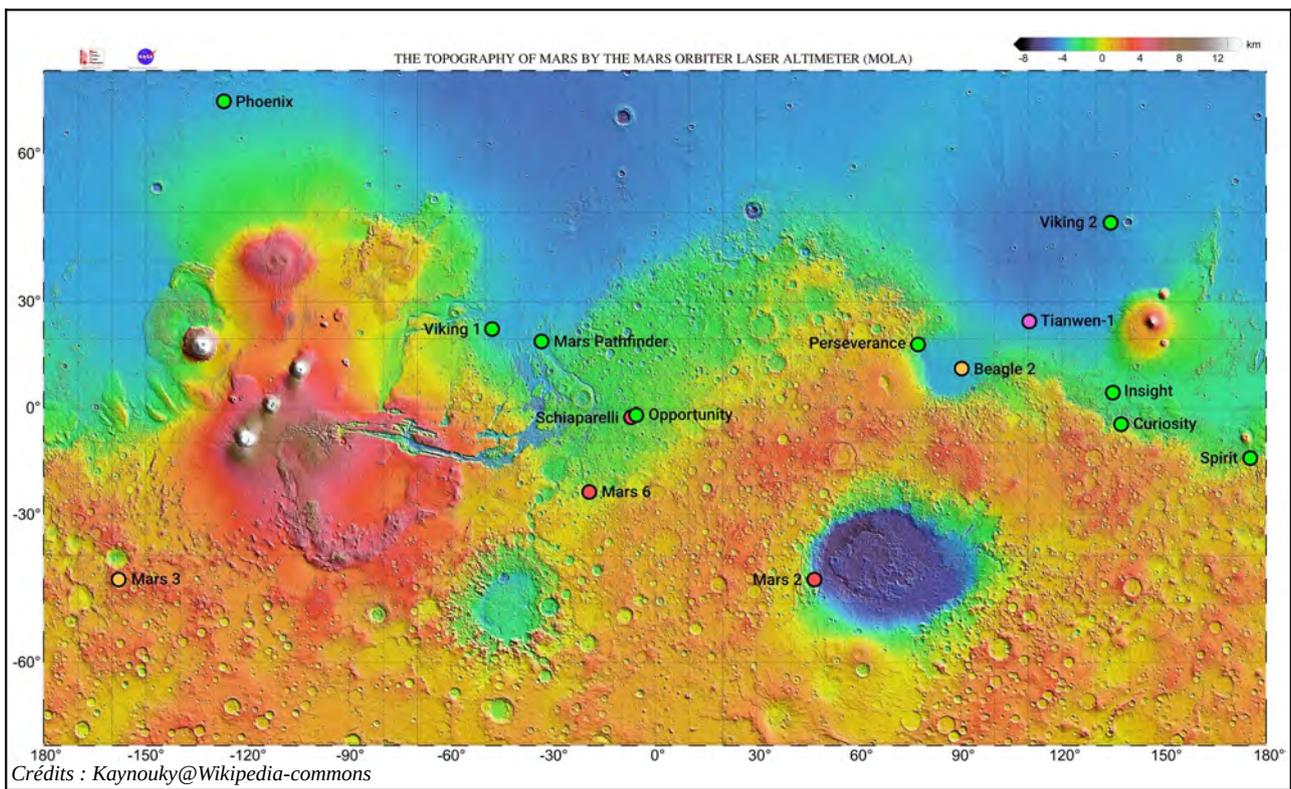
Crédits : CNSA

Masse :	240 kg
Dimensions :	3,0 m de long×2,6 m de large et 1,85 m de haut (mât compris)
Puissance :	>120 W (déduite)

Le rover chinois est doté des instruments suivants :

- x NaTeCam : deux caméras stéréoscopiques
- x MScam : Camra multispectrale (480 à 1 000 nm) de résolution entre 12 et 50 nm
- x RoSPR : un radar à pénétration de sol pouvant aller de 10 à 100 m avec une résolution allant du centimètre au mètre.
- x MarSCoDe : un spectromètre laser infrarouge par plasma induit de résolution spectrale de 0,1 et 0,3 nm et un spectromètre passif entre 850 et 2400 nm de résolution 3 à 12 nm
- x RoMAG : un magnétomètre  $\pm 2000$  nTesla avec résolution de 0,01 nTesla
- x MCS : Station météorologique (Température, Pression, Vent et son)

Voici une carte de la position des différents lander et rover présents actuellement sur Mars :



## 2. Utilisation d'un microcontrôleur, exemple d'Arduino

Persévérance embarque 7 instruments scientifiques pour étudier l'environnement biologique et géologique martien dont la station météo « MEDA » (Mars Environment Dynamic Analyser) et une antenne construite par Airbus.

Depuis la surface de Mars, la station météo assure une liaison de communication haut débit avec la Terre.

L'instrument MEDA mesurera de nombreux paramètres à l'aide de capteurs répartis sur le rover :

- x Vitesse et direction du vent.
- x Humidité relative.
- x Pression atmosphérique.
- x Température du sol et de l'air.
- x Rayonnement solaire.
- x Propriété des poussières en suspension.



Crédits : NASA

### Objectifs de l'activité :

- x Utiliser un microcontrôleur pour simuler un rover et sa station météorologique.
- x Pour y arriver, réaliser les défis proposés

*Compte-tenu du distanciel, il a été choisi d'utiliser une plateforme de simulation en ligne qui permet de programmer sur Arduino ou Microbit, en bloc ou en mode texte : Tinkercad. Cette plateforme permet également un mode de gestion de classe qui nous sera bien utile dans ce contexte de distanciel.*

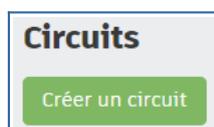
### Légende :

	Question ou action à réaliser
	Aide & conseils

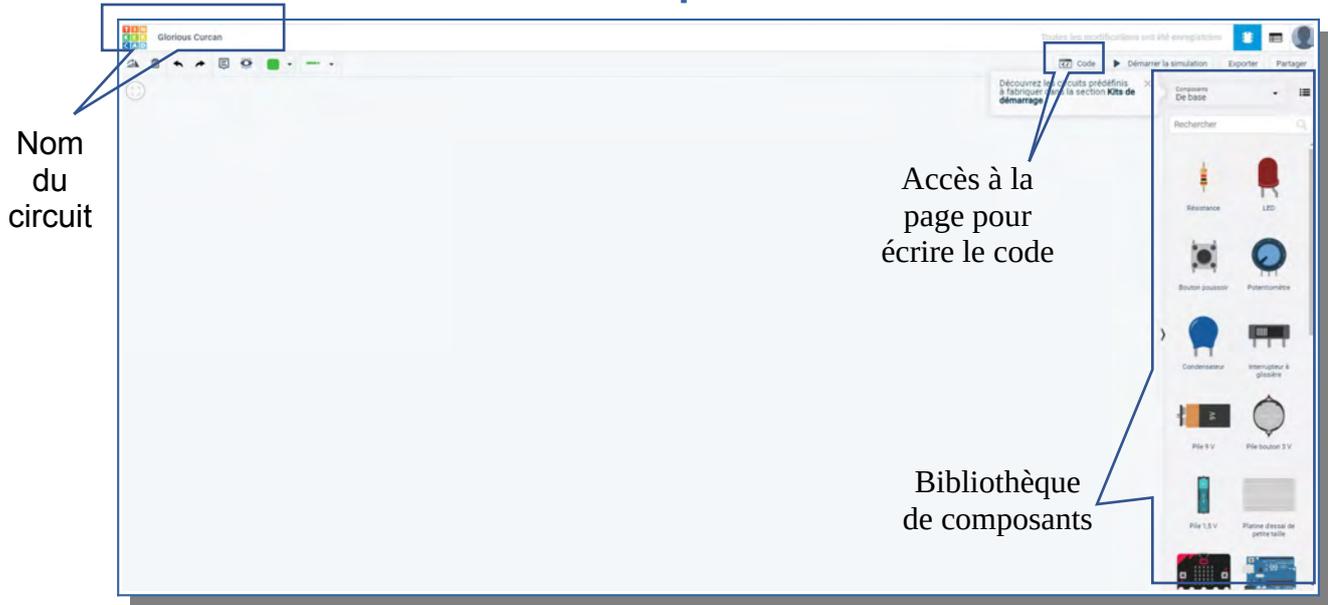
### C'est parti !



	<b>Connectez-vous</b> au site <a href="https://www.tinkercad.com/">https://www.tinkercad.com/</a> avec les identifiants qui vous ont été fournis
	<b>Choisir</b> "Circuits"
	<b>Cliquer</b> sur "Créer un circuit"



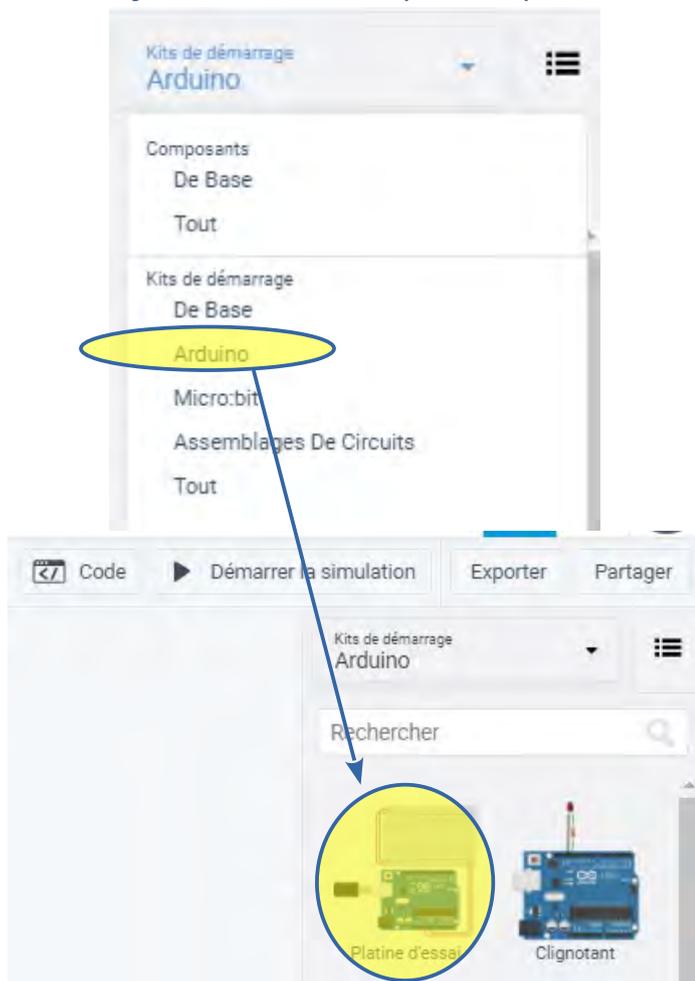
## Voilà une fenêtre vient de s'ouvrir pour créer votre 1<sup>er</sup> défi !



 **Modifier** le nom en haut à gauche pour que cela soit plus facile à retrouver !

## Défi 1A – acquisition de la température :

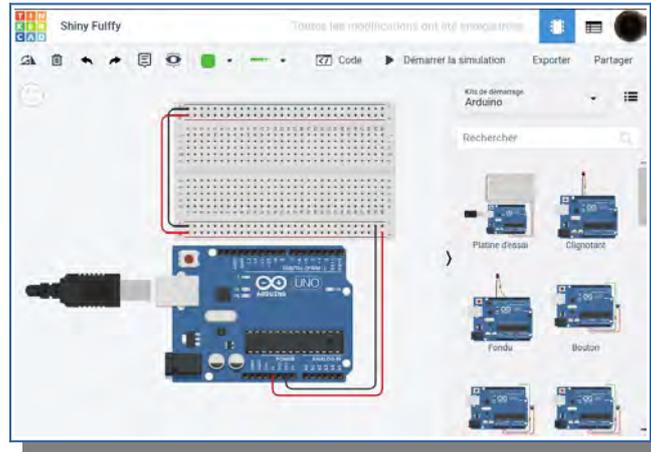
**Objectif** : afficher ce que le capteur mesure



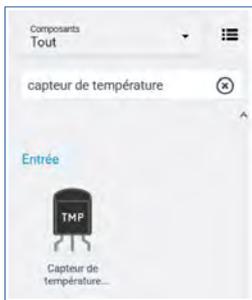
 **Choisir** dans la bibliothèque de composants :  
**kit de démarrage > Arduino**

 **Choisir** la platine d'essai en cliquant dessus puis cliquer sur votre espace de travail.  
Vous pouvez nommer votre carte **Arduino** comme vous le souhaitez.

## ATTENDU :



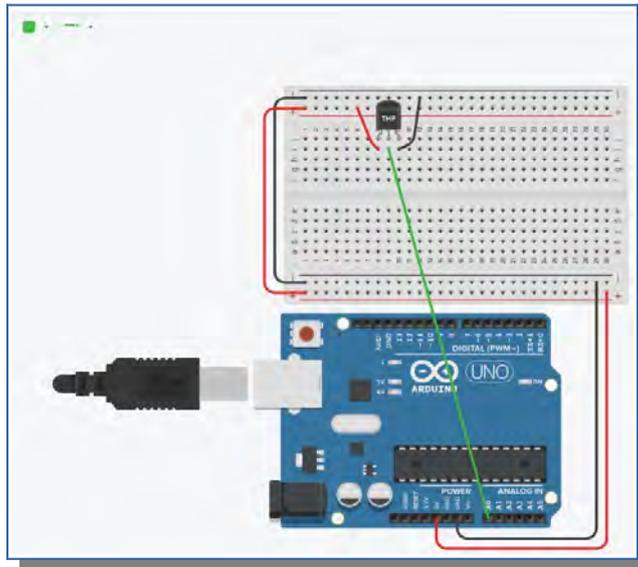
	<p>Pour voir à tout moment l'espace de travail complet, cliquer sur </p> <p>Aide sur la platine ou platine d'essai en fin document (<a href="#">Document ressource DR1</a>)</p>
---	--



	<p><b>Chercher</b> le capteur de température (TMP), puis le déposer sur la platine et le câbler. Infos sur le capteur : <a href="https://www.gotronic.fr/art-tmp36-19559.htm">https://www.gotronic.fr/art-tmp36-19559.htm</a></p>
	<p>En passant la souris sur les broches, les références des broches apparaissent :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>x la broche Terre : 0V,</li><li>x la broche alimentation : 5V,</li><li>x la broche tension de sortie : entrée A0 de la carte Arduino</li></ul> <p><b>Modifier</b> la couleur des fils (en haut à gauche) pour un repérage plus facile et de bonnes habitudes !</p>



## ATTENDU :



**Élaborer** le code correspondant : cliquer sur “code” puis choisir le mode programmation blocs (collège) ou texte (lycée).  
Le mode bloc étant intuitif, le mode texte est ici privilégié.

**Supprimer** le programme déjà écrit et le remplacer par le programme ci-dessous :

```
float temperature; //variable pour afficher une température en °C
int temp; // variable pour stocker la donnée du capteur

void setup()
{
  // déclaration des entrées-sorties
  pinMode(A0, INPUT);

  // ouverture du port série vitesse 9600 bauds
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  // lecture du capteur température
  temp = analogRead(A0);

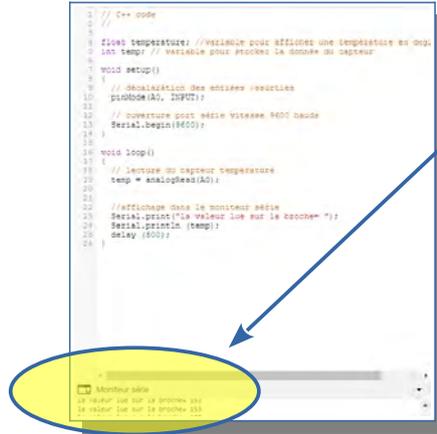
  // affichage dans le moniteur série
  Serial.print("la valeur lue sur la broche= ");
  Serial.println (temp);
  delay (500);
}
```



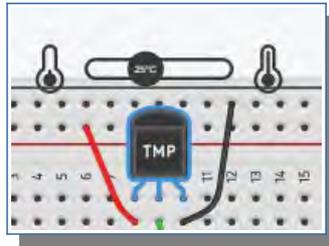
**Cliquer** sur “Démarrer la simulation” (en haut à droite)



**Penser à ouvrir le moniteur série, situé sous le programme :**



**Cliquer sur le capteur de température.**  
Un curseur apparaît pour simuler différentes températures :



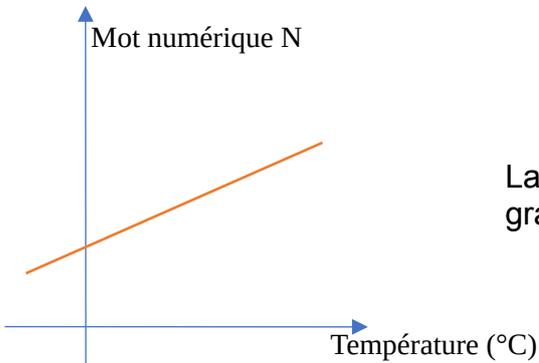
**Préciser ce que représente la valeur affichée en complétant le schéma :**



# Défi 1B – Acquisition de la température :

**Objectif** : mesurer et afficher la température en °C

D'après la documentation du capteur :



La relation entre la grandeur mesurée, ici la température, et la grandeur électrique est de type **affine**.

	<b>Positionner</b> les points caractéristiques à l'aide du curseur et déterminer l'équation caractéristique de la droite de conversion pour ce capteur
	<b>Modifier</b> et compléter le programme ci-dessous pour afficher la valeur de la température en degré Celsius.

```
float temperature; // variable pour afficher une température en °C
float mot_num; // variable pour stocker la donnée du capteur

void setup()
{
  pinMode(A0, INPUT); // déclaration des entrées -sorties
  Serial.begin(9600); // ouverture port série vitesse 9600 bauds
}

void loop()
{
  mot_num = analogRead(A0); // lecture du capteur temperature

  //calcul pour obtenir la température en °C (à compléter)
  temperature = _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ ;

  //affichage dans le moniteur série
  Serial.print("Valeur lue sur la broche= ");
  Serial.println (mot_num);
  Serial.print("température= ");
  Serial.println (temperature);
  delay (500);
}
```

**Cliquer sur « démarrer la simulation »**

## Conclusion :

Avec ce premier défi, vous avez pu connecter un capteur analogique, l'étalonner et le mettre en œuvre. Dans la réalité, toute la partie codage est la même. La différence tiendra juste à l'utilisation du logiciel Arduino plutôt que Tinkercad pour envoyer le programme sur la carte préalablement câblée en USB. Il existe quantité de tutoriels sur internet décrivant cette partie de câblage et d'envoi du programme sur la carte.

## Défi 2 – Acquisition de la lumière ambiante :

**Objectif** : mesurer et afficher la valeur de l'éclairement de la lumière ambiante.

Vous pouvez faire un nouveau circuit mais le mieux est de compléter et complexifier votre circuit précédent.

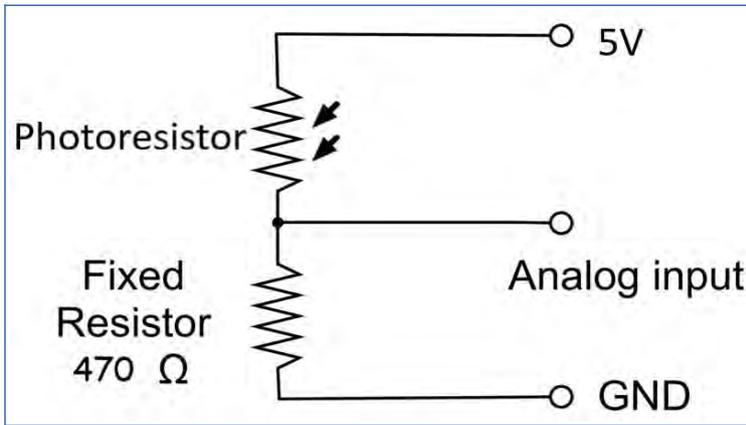


À partir de la bibliothèque de composants, ajouter un capteur de lumière ambiante, choisir la photorésistance



### Information sur la photorésistance

Pour avoir une information fiable il faut faire un montage "pull down". Ce montage permet d'avoir des valeurs de tensions fiables entre 0 et 5V.



**Câbler** le capteur : énergie, résistor de 470 Ω et relier à l'entrée **A1**.

**Modifier et compléter** le programme :

- x Déclarer une variable **lum**
- x Déclarer que la broche **A1** est une entrée dans **void setup()**

**Étalonner** le capteur :

- x Chercher avec le curseur le début de la saturation et considérer qu'elle produit pour 50 000 lux
- x Relever la valeur retournée pour une absence de lumière (0 lux)
- x En déduire la droite affine correspondante
- x Compléter le programme pour lire le capteur et afficher sa valeur dans le moniteur série.

## Défi 3 – Détection d'obstacles

**Objectif** : détecter les obstacles à distance

Si vous aviez fait un nouveau circuit pour le défi 2, compléter et complexifier votre circuit précédent !



**Ajouter** un capteur à ultra-sons, choisir celui à 3 broches (plus facile à câbler).



### Information sur le capteur

Il n'y a pas de bibliothèque Arduino couplée à ce capteur, ce qui signifie qu'il faut tout programmer : l'émission de la trame, sa réception et le calcul de la distance. Voir le document ressource **DR2** pour un câblage réel et un programme Arduino adapté aux nouveaux supports.

### Programme type pour capteur Ultra-sons

```
// declaration des variables « inches » et « cm »
int inches = 0;
int cm = 0;

/* Fonction (sous-programme) du capteur US, cette fonction s'appelle
readUltrasonicDistance. Elle renvoie un entier long (4 octets, 0 à
4 294 967 296) et doit recevoir le numéro des broches du trigger et celle de
l'écho.*/

long readUltrasonicDistance(int triggerPin, int echoPin)
{
  pinMode(triggerPin, OUTPUT); // Clear the trigger
  digitalWrite(triggerPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);

  // Sets the trigger pin to HIGH state for 10 microseconds
  digitalWrite(triggerPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(triggerPin, LOW);
  pinMode(echoPin, INPUT);

  // Reads the echo pin, and returns the sound wave travel time in
microseconds
  return pulseIn(echoPin, HIGH);
}

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  // measure the ping time in cm
  cm = 0.01723 * readUltrasonicDistance(7, 7);
  Serial.print(cm);
  Serial.println("cm");
  delay(100); // Wait for 100 millisecond(s)
}
```



**Câbler** le capteur : énergie et relier à l'entrée **D7**).



**Modifier** et **compléter** le programme :

- x Déclarer une variable **cm** ;
- x Recopier la fonction liée au capteur ultrason ;
- x Ne recopier ensuite que les parties intéressantes du programme.
- x Compléter le programme pour lire le capteur et afficher la valeur dans le moniteur série.

## Pour aller plus loin :

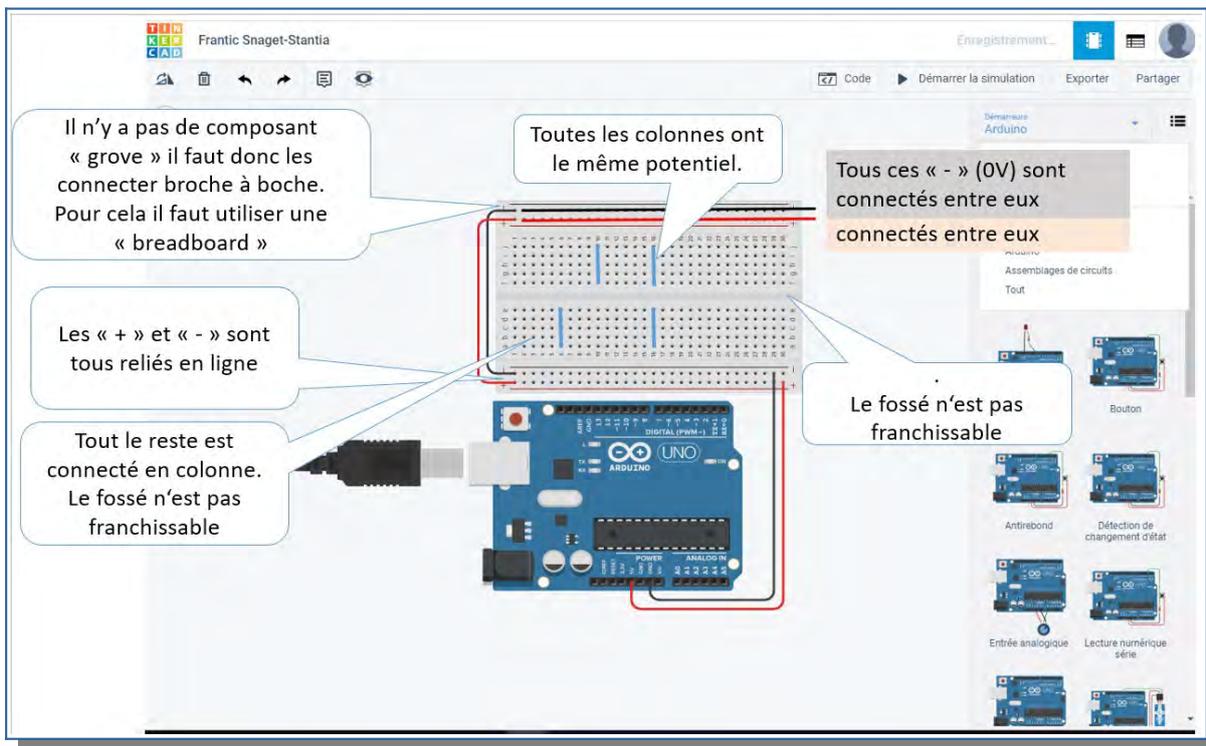
**Niveau débutant « j'ai fait les défis ! »**

Ajouter une led, pour avertir lorsqu'on est à moins de 50 cm de l'obstacle.

**Niveau « je gère de dingue ! »**

Ajouter un motoréducteur, pour simuler le déplacement du robot et le stopper quand on est proche d'un obstacle

## document ressource DR1



## document ressource DR2

### Capteur ultrason grove



**Télémetre à ultrasons Grove 101020010**  
Code article : 31315

Ce télémetre compatible Grove permet de mesurer la distance sans contact à l'aide de transducteurs à ultrasons.  
> [Description complète](#)

Quantité :  + -

✓ Quantité en stock : 500+

Livraison à partir de 4,50€ ?

3,75 € HT  
**4,50 € TTC**  
dont 0,02 € d'éco-part

[Ajouter au panier](#)

Figure 2: <https://www.gotronic.fr/art-telemetre-a-ultrasons-grove-101020010-18976.htm>

Un lien vers Seeedstudio est proposé, ouvrir ce lien pour voir un programme de base.

<https://www.seeedstudio.com/Grove-Ultrasonic-Distance-Sensor.html>

Différents programmes de base sont proposés pour arduino, raspberry etc...

Le programme de base pour arduino est sur la page suivante

```

#include "Ultrasonic.h"
Ultrasonic ultrasonic(7);

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  long RangeInInches;
  long RangeInCentimeters;
  Serial.println("The distance to obstacles in front is: ");

  RangeInInches = ultrasonic.MeasureInInches();
  Serial.print(RangeInInches); //0~157 inches
  Serial.println(" inch");
  delay(250);

  RangeInCentimeters = ultrasonic.MeasureInCentimeters(); // two measurements
  should keep an interval

  Serial.print(RangeInCentimeters); //0~400cm
  Serial.println(" cm");
  delay(250);
}

```

## À noter :

**#include** "Ultrasonic.h" => est un appel d'une bibliothèque propre au composant.

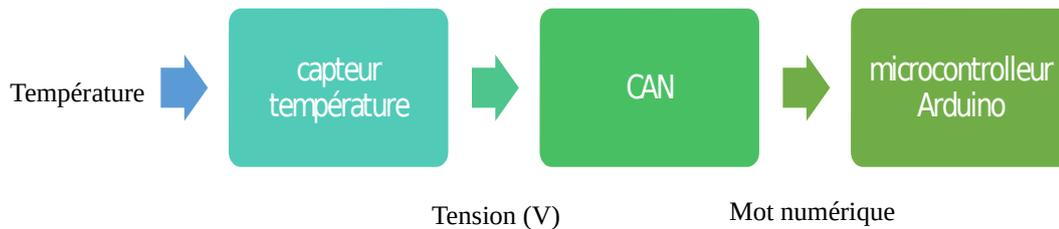
Ultrasonic **ultrasonic**(7) => la bibliothèque Ultrasonic sera utilisée avec le nom ultrasonic comme préfixe, et le composant est connecté à la broche D7.

# RÉPONSES

## Défi 1A – acquisition de la température :



**Préciser** ce que représente la valeur affichée en complétant le schéma :



## Défi 1B – Acquisition de la température :



**Positionner** les points caractéristiques à l'aide du curseur et déterminer l'équation caractéristique de la droite de conversion pour ce capteur

$$T = \frac{165}{338} \times N - 50,8$$



**Modifier** et compléter le programme ci-dessous pour afficher la valeur de la température en degré Celsius.

```
float temperature; //variable pour afficher une température en degré celsius
float mot_num; // variable pour stocker la donnée du capteur

void setup()
{
  // déclaration des entrées – sorties
  pinMode(A0, INPUT);

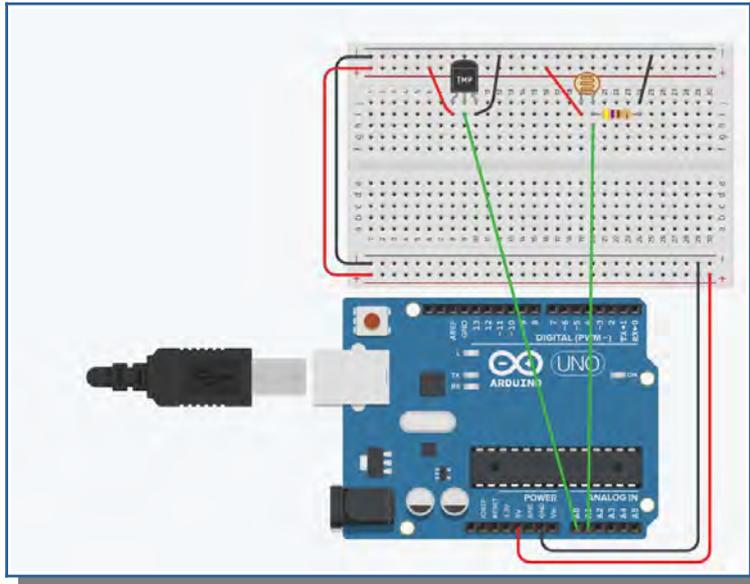
  // ouverture port série vitesse 9600 bauds
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  // lecture du capteur temperature
  mot_num = analogRead(A0);

  //calcul pour obtenir la température en °C
  temperature =mot_num*165/338-50,8 ;

  //affichage dans le moniteur série
  Serial.print("la valeur lue sur la broche= ");
  Serial.println (mot_num);
  Serial.print("température= ");
  Serial.println (temperature);
  delay (500);
}
```

## Défi 2 – Acquisition de la lumière ambiante :



```
float temperature; //variable pour afficher une température en degré Celsius
float mot_num; // variable pour stocker la donnée du capteur
float lum;

void setup()
{
  // déclaration des entrées -sorties
  pinMode(A0, INPUT);
  pinMode(A1, INPUT);

  // ouverture port série vitesse 9600 bauds
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  mot_num = analogRead(A0); // lecture du capteur temperature

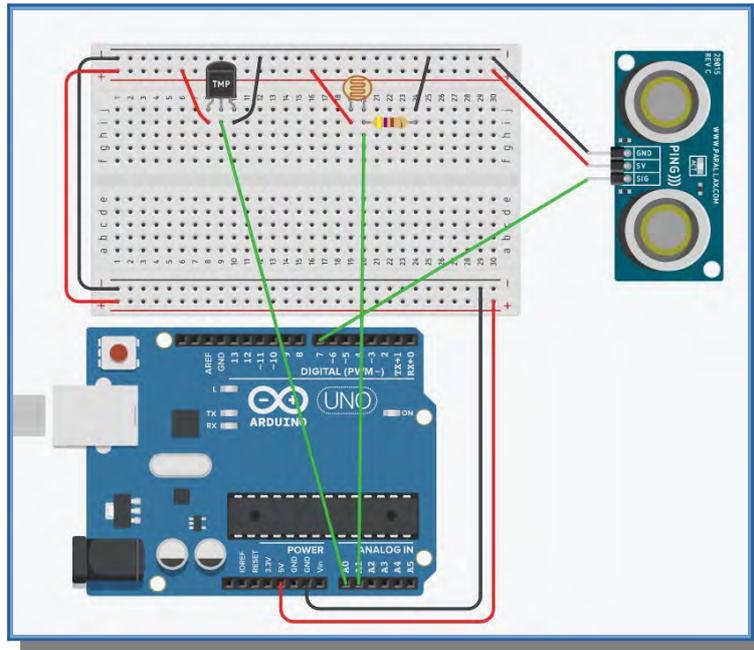
  temperature =mot_num*165/338-50,8 ; //calcul pour obtenir la température en °C

  lum=analogRead(A1); //lecture du capteur de luminosité

  //affichage dans le moniteur série
  Serial.print("la valeur lue sur la broche= ");
  Serial.println (mot_num);
  Serial.print("température= ");
  Serial.println (temperature);
  Serial.print("la valeur lue sur la broche A1= ");
  Serial.println (lum);

  delay (1000);
}
```

## Défi 3 – Détection d'obstacles



```
float temperature; //variable pour afficher une température en degré Celsius
float mot_num; // variable pour stocker la donnée du capteur
float lum;
int cm = 0; // declaration de la variable « cm »

/* fonction (sous-programme) du capteur US, cette fonction s'appelle
readUltrasonicDistance
cette fonction renvoie un long et doit recevoir le numéro des broches du trigger et
celle de l'écho */

long readUltrasonicDistance(int triggerPin, int echoPin)
{
  pinMode(triggerPin, OUTPUT); // Clear the trigger
  digitalWrite(triggerPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);

  // Sets the trigger pin to HIGH state for 10 microseconds
  digitalWrite(triggerPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(triggerPin, LOW);
  pinMode(echoPin, INPUT);

  // Reads the echo pin, and returns the sound wave travel time in microseconds
  return pulseIn(echoPin, HIGH);
}

void setup()
{
  // déclaration des entrées -sorties
  pinMode(A0, INPUT);
  pinMode(A1, INPUT);
  // ouverture port série vitesse 9600 bauds
  Serial.begin(9600);
}
```

*suite en page suivante*

```

void loop()
{
  // lecture du capteur temperature
  mot_num = analogRead(A0);

  //calcul pour obtenir la température en °C
  temperature =mot_num*165/338-49,7 ;

  //lecture du capteur de luminosité
  lum=analogRead(A1);

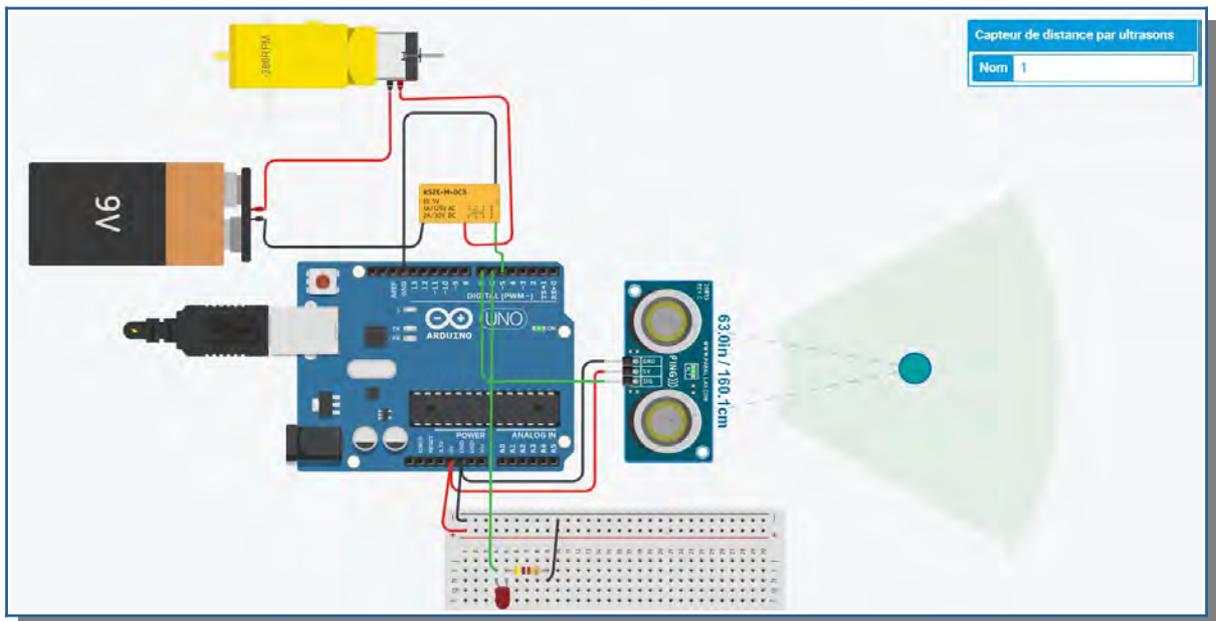
  //lecture du capteur à US en cm
  cm = 0.01723 * readUltrasonicDistance(7,7);

  //affichage dans le moniteur série
  Serial.print("la valeur lue sur la broche= ");
  Serial.println (mot_num);
  Serial.print("température= ");
  Serial.println (temperature);
  Serial.print("la valeur lue sur la broche A1= ");
  Serial.println (lum);
  Serial.println (lum);
  Serial.print("la distance de l'obstacle est de: ");
  Serial.print(cm);
  Serial.println(" cm");

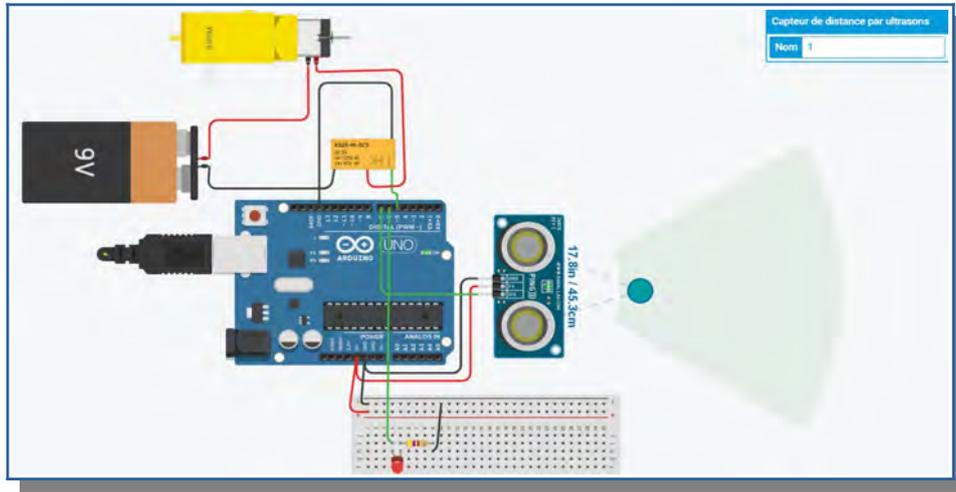
  delay (200);
}

```

## Défi Bonus – Pour aller plus loin ...



**Correction du niveau « je gère de dingue !**



```

int cm = 0;

// fonction de gestion du capteur ultrason
long readUltrasonicDistance(int triggerPin, int echoPin)
{
  pinMode(triggerPin, OUTPUT); // Clear the trigger
  digitalWrite(triggerPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  // Sets the trigger pin to HIGH state for 10 microseconds
  digitalWrite(triggerPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(triggerPin, LOW);
  pinMode(echoPin, INPUT);
  // Reads the echo pin, and returns the sound wave travel time in microseconds
  return pulseIn(echoPin, HIGH);
}

void setup()
{
  // ouverture du port série pour visualiser les données
  Serial.begin(9600);

  //déclaration des sorties 5=relais_moteur 6=led
  pinMode (6,OUTPUT);
  pinMode (5,OUTPUT);
}

void loop()
{
  // traduire la mesure ne cm
  cm = 0.01723 * readUltrasonicDistance(7, 7);

  // afficher la distance
  Serial.print(cm);
  Serial.println("cm");
  delay(100); // Wait for 100 millisecond(s)

  if (cm < 50) {
    digitalWrite (6,HIGH);
    digitalWrite (5,LOW);
    Serial.println("attention");
  }
  else {
    digitalWrite (6,LOW);
    digitalWrite (5,HIGH);
    Serial.println("pas d'obstacle");
  }
}

```

## Bibliographie

- x Tero Karvinen, Kimmo Karvinen, Ville Valtokari, « **Les capteurs pour Arduino® et Raspberry Pi** », DUNOD, coll. « Tous Makers ! », 2014 – 304 pages. ISBN : 9782100717934
- x Massimo Banzi (co-inventeur d'Arduino®) & Michael Shiloh , « **Démarrez avec Arduino®** », DUNOD, coll. « Tous Makers ! », 2015 – 175 pages. ISBN : 9782100727391
- x Dominique MOLLARD, « **Arduino® Apprenez à coder avec mBlock** », ENI, coll. « La fabrique », 2017 – 325 pages. ISBN : 9782409011078
- x Alessandro Mortarino, « **Missions sur Mars** », Glénat, Coll. « Référence », 2020 – 192 pages. ISBN : 9782344044933

## Webothèque

01. Liste des missions vers Mars : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste\\_de\\_missions\\_vers\\_Mars](https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_de_missions_vers_Mars)
02. Mars 3 : <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=1971-049A>
03. Viking 1 : <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=1975-075C>
04. Viking 2 : <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=1975-083C>
05. Mars Pathfinder & Sojourner : <https://mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/pathfinder/>
06. Spirit : <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=2003-027A>
07. Opportunity : <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=2003-032A>
08. Phoenix : <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=2007-034A>
09. Curiosity : <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=2011-070A>
10. ChemCam : [https://msl-curiosity.cnes.fr/fr/MSL/Fr/GP\\_chemcam.htm](https://msl-curiosity.cnes.fr/fr/MSL/Fr/GP_chemcam.htm)
11. ChemCam at a glance : <https://www.msl-chemcam.com/>
12. Perseverance / Mars 2020 : <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=2020-052A>
13. Ingenuity : <https://mars.nasa.gov/technology/helicopter/>
14. Zhurong : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Zhurong\\_\(rover\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Zhurong_(rover))
15. Zhurong : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Tianwen-1#Astromobile\\_\(rover\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Tianwen-1#Astromobile_(rover))
16. Zhurong : <http://www.cnsa.gov.cn/english/n6465652/n6465653/c6811942/content.html>
17. Tianwen-1 : <http://www.cnsa.gov.cn/english/n6465652/n6465653/c6809448/content.html>
18. Programme Discovery : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Programme\\_Discovery](https://fr.wikipedia.org/wiki/Programme_Discovery)
19. Insight : <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=INSIGHT>
20. Insight – NASA : <https://mars.nasa.gov/insight/>
21. Insight – CNES : <https://insight.cnes.fr/fr/>
22. Insight-SEIS : <https://www.seis-insight.eu/fr/public/sismologie-planetaire/historique>
23. ENS Lyon : [Les robots mobiles sur Mars : des moyens irremplaçables d'étude](#)
24. ENS Lyon : [articles de veille sur les missions spatiales](#)
25. [Gotronic](#) : site de matériel électronique
26. [Lextronic](#) : site de matériel électronique
27. **seedstudio** : Un lien vers Seedstudio est proposé pour la majorité des capteurs, ouvrir ce lien pour voir un programme de base.
28. **Tinkercad** est libre d'accès, vous pouvez vous inscrire très facilement et créer vos classes...  
<https://www.tinkercad.com/>  
(Attention : Tinkercad étant hébergé aux États-Unis, son utilisation avec les élèves doit se faire en respectant le RGPD : il n'est pas possible de leur demander d'y créer un compte. À minima, une anonymisation est requise, mais non suffisante et une inscription au registre des traitements de l'établissement est dans tout les cas indispensable. L'intérêt de créer une classe avec tinkercad c'est que les élèves n'ont pas besoin de créer un compte, seul l'enseignant en possède un.  
La classe se crée facilement en copiant une liste de noms et prénoms d'élèves, les pseudo sont générés automatiquement ainsi que l'identifiant unique de la classe.)

