

La calculatrice graphique et la carte micro:bit comme outils d'expérimentation scientifique en physique-chimie



Teachers Teaching with Technology™

par Fabien BEYAERT

Lycée de l'Europe - 59640 Dunkerque
fabien-jerome.beyaert@ac-lille.fr

CET ARTICLE présente plusieurs activités expérimentales mobilisant une calculatrice TI-83 Premium CE Édition Python associée à une carte micro:bit. À travers des exemples concrets en physique et en chimie, il illustre comment la calculatrice permet d'acquérir, de traiter et de transmettre des données. Des scénarios sont proposés autour du suivi cinétique d'une réaction, de la charge d'un condensateur, ou encore de la transmission de données expérimentales sans fil entre le poste de professeur et les élèves. L'accent est mis sur l'exploitation pédagogique de ces outils accessibles, portables et programmables. L'article met en valeur la complémentarité entre les mesures physiques et leur traitement numérique, au service d'une démarche scientifique complète. Des scripts Python simples sont proposés pour illustrer la programmation nécessaire à certaines de ces activités.

1. UN LABORATOIRE MOBILE ACCESSIBLE POUR LA CLASSE

Dans un contexte où l'autonomie des élèves et la mobilité des dispositifs expérimentaux prennent une importance croissante, l'association de la calculatrice TI-83 Premium CE Édition Python et de la carte BBC micro:bit (cf. figure 1) constitue une solution compacte, abor-



Figure 1 - La calculatrice TI-83 Premium CE Édition Python - La carte BBC micro:bit.

dable et performante pour mettre en œuvre des activités scientifiques complètes, sans recours à un ordinateur.

La TI-83 Premium CE Édition Python se distingue par sa polyvalence. En plus de ses fonctions graphiques classiques, elle permet de programmer en Python avec une interface claire, une coloration syntaxique adaptée aux débutants comme aux utilisateurs confirmés. Elle permet d'effectuer des acquisitions de données à partir de capteurs externes ou encore d'utiliser une carte à microcontrôleur comme la **carte micro:bit** programmable en Python.

La calculatrice devient alors un véritable **laboratoire portable**, pour chaque élève (cf. figure 2). La communication avec la calculatrice s'effectue *via* un simple câble USB, sans configuration complexe.



Figure 2 - Calculatrice et micro:bit - un laboratoire dans la poche de chaque élève.

La **carte micro:bit** est un microcontrôleur compact intégrant de nombreux capteurs et actionneurs (capteur de luminosité, haut-parleur, microphone, radio, accéléromètre, boussole, boutons, écran 25 LEDs). Pour connecter des capteurs externes (comme des capteurs Grove), on peut utiliser une carte d'extension (ou *shield*) adaptée, qui facilite les branchements.

Contrairement à des interfaces plus lourdes (ordinateurs, microcontrôleurs classiques), ce duo calculatrice + micro:bit permet une prise en main rapide, une meilleure gestion du matériel en classe, et une intégration fluide dans une séquence expérimentale complète : acquisition - traitement - interprétation.

2. ILLUSTRATIONS CONCRÈTES D'ACTIVITÉS EN CLASSE

2.1. Suivi cinétique par mesure de pression

2.1.1. Objectif

Étudier la vitesse d'évolution d'une réaction acido-basique productrice de gaz, en suivant la pression générée dans un système fermé.

2.1.2. Protocole succinct

- ◆ Dans un erlenmeyer de 250 mL, introduire 10 mL de solution de NaHCO_3 (40 g/L).
- ◆ Relier un tube à dégagement à un capteur de pression Grove MPX5700AP connecté à une carte micro:bit (cf. figure 3).
- ◆ Lancer l'acquisition dès qu'un cachet d'aspirine (500 mg), préalablement broyé, est ajouté dans l'erlenmeyer.
- ◆ La réaction produit du CO_2 , ce qui entraîne une augmentation de la pression mesurée en temps réel.
- ◆ Les données sont enregistrées automatiquement sur la calculatrice TI-83 Premium CE pour être analysées à l'aide de ses outils graphiques.

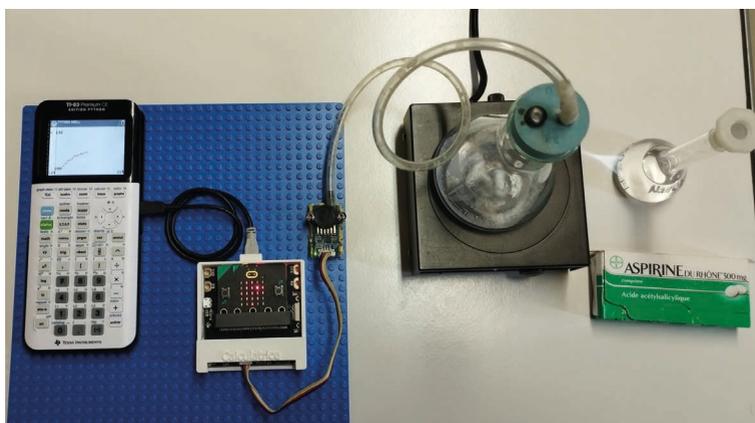


Figure 3 - Montage expérimental du suivi cinétique par mesure de pression.

2.1.3. Script Python utilisé sur la TI-83

Le script associé, intitulé CINET_P.py, est visible sur la figure 4. Il est disponible en téléchargement (cf. *Ressources complémentaires* en fin d'article). Ce script court et simple à mettre en œuvre avec des élèves, utilise la bibliothèque mb_log pour automatiser l'acquisition graphique des données issues d'un capteur de pression Grove branché sur l'entrée analogique pin1 de la carte micro:bit.

```

ÉDITEUR : CINET_P
LIGNE DU SCRIPT 0010
from microbit import *
from mb_log import *
from mb_grove import *
from mb_pins import *

data_log.set_duration(240)
data_log.set_sensor('grove.read_pressure(pin1)')
data_log.set_range(100,130)
data_log.start()

```

Figure 4 - Script Python affiché sur la TI-83. La coloration syntaxique facilite la lisibilité du code par les élèves.

Les mesures sont prises pendant deux cent quarante secondes et tracées en temps réel. L'échelle de pression affichée à l'écran est ici fixée entre 100 et 130 kPa. À l'issue de l'acquisition, les données sont automatiquement transférées et mémorisées dans les listes de la calculatrice pour une exploitation ultérieure avec les outils graphiques de la calculatrice TI-83.

2.1.4. Résultats expérimentaux et exploitation des données

L'acquisition réalisée avec le capteur de pression connecté à la micro:bit permet d'obtenir, *via* la calculatrice TI-83, une courbe pression en fonction du temps (cf. figure 5). Cette courbe reflète l'augmentation progressive de la pression due à la formation de dioxyde de carbone lors de la réaction chimique entre le bicarbonate et l'aspirine.

Une fois enregistrées dans les listes, les données peuvent être exploitées avec les fonctionnalités classiques de la calculatrice. Ici, pour exploiter cette courbe expérimentale, deux droites de référence sont tracées (cf. figure 6) :

- ◆ une asymptote horizontale correspondant à la pression finale maximale théorique, atteinte lorsque la réaction est terminée. Ici $P_{\max} = 122,5$ kPa ;
- ◆ une droite horizontale à mi-hauteur, correspondant à la moitié de l'avancement maximal de la réaction. Ici $P_{1/2} = 111,5$ kPa.

L'intersection de cette seconde droite avec la courbe expérimentale permet de déterminer graphiquement le **temps de demi-réaction** $t_{1/2}$ ici estimé à environ 30,6 s. C'est le temps nécessaire pour que la moitié du dioxyde de carbone attendu soit formée.

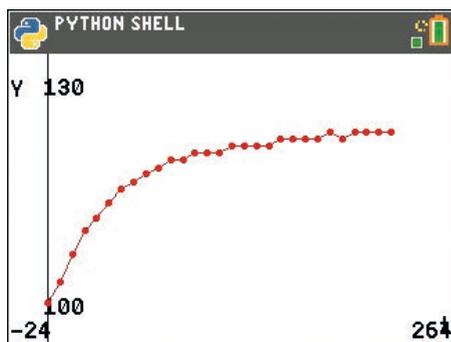


Figure 5 - Évolution de la pression dans le système au cours du temps – données acquises *via* mb_log sur la TI-83.

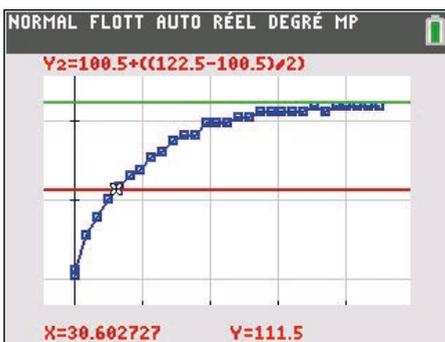


Figure 6 - Détermination graphique du temps de demi-réaction.



Un parallèle en physique : charge d'un condensateur

Un phénomène similaire peut être étudié en physique à travers la charge d'un condensateur dans un circuit RC. La carte micro:bit permet en effet d'accéder directement à ses broches d'alimentation (3,3 V et GND) ainsi qu'à ses entrées analogiques, ce qui autorise des montages simples sur breadboard, comme le circuit RC classique.

En connectant un condensateur et une résistance, puis en mesurant la tension aux bornes du condensateur *via* une entrée analogique (ici le **pin1** sur la figure 7), on obtient une courbe de charge exponentielle comparable à celle observée dans le suivi cinétique de la pression.^a

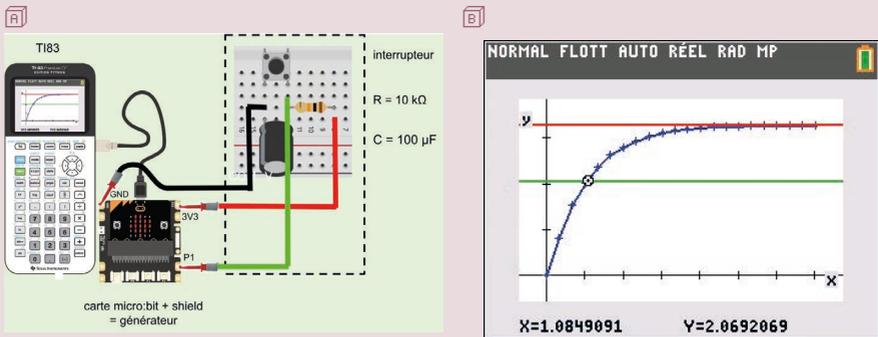


Figure 7 - (A) Montage pour le suivi de la charge d'un circuit RC - (B) Exploitation de la courbe d'évolution de la charge du condensateur.

2.2. Transmission des données par radio (démonstration au bureau du professeur)

2.2.1. Objectif

Montrer comment une acquisition de données réalisée avec un capteur connecté à la calculatrice TI-83 peut être transmise sans fil aux élèves *via* la communication radio des cartes micro:bit (cf. figure 8).

L'exemple choisi est l'étude de la trajectoire

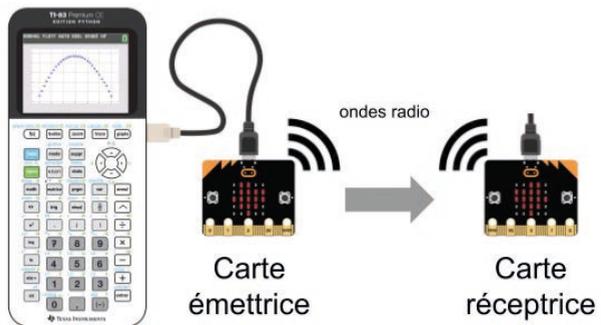


Figure 8 - Transmission radio des données entre deux calculatrices *via* les cartes micro:bit.

verticale d'un objet lancé en l'air, mesurée par un capteur à ultrasons CBR2 directement connecté à la calculatrice. Le CBR2 (*Calculator-Based Ranger 2*), de la marque Vernier, est un capteur à ultrasons qui mesure en continu la distance d'un objet en mouvement, sans contact. Il est compatible avec l'application *EasyData* de la calculatrice TI-83.

Cette activité illustre à la fois :

- ◆ la possibilité d'utiliser un capteur avec la calculatrice sans programmation ;
- ◆ l'usage du module radio de la carte micro:bit pour un transfert de données vers les calculatrices des élèves ;
- ◆ une séquence où les élèves analysent des données réelles qu'ils n'ont pas eux-mêmes mesurées.

2.2.2. Protocole succinct

- ◆ Connecter le CBR2 à la calculatrice TI-83 Premium CE.
- ◆ Après avoir paramétré la durée d'acquisition avec l'application d'acquisition *EasyData* de la calculatrice, lancer un objet (ballon de basket) verticalement au-dessus du CBR2.
- ◆ Observer sur l'écran de la calculatrice l'évolution de la distance au cours du temps (cf. figure 9)

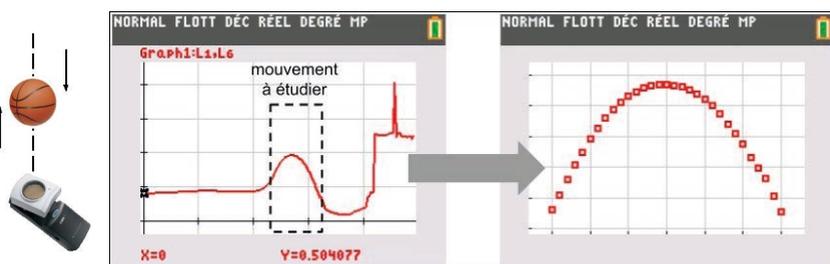


Figure 9 - Résultat de l'acquisition avec EasyData : évolution de la distance au cours du temps pour un mouvement vertical.

- ◆ Les données (durée et distance) sont enregistrées dans les listes de la calculatrice.
- ◆ Sélectionner les données correspondant à la phase utile du mouvement (montée + descente).
- ◆ Connecter une carte micro:bit à la calculatrice du professeur.
- ◆ À l'aide de scripts *Python*, transférer les données par radio aux cartes micro:bit connectées aux calculatrices des élèves.
- ◆ Les élèves peuvent alors exploiter ces données avec les outils graphiques classiques de leur calculatrice.

2.2.3. Script Python utilisé sur la TI-83⁽¹⁾

La transmission des données s'appuie sur deux scripts *Python* : l'un exécuté sur la calculatrice du professeur (c'est le script émetteur `EMET_LXY.py`), l'autre sur celle des élèves (c'est le script récepteur `RECP_LXY.py`). Ces scripts permettent d'envoyer et de recevoir les valeurs stockées dans deux listes numériques enregistrées sur la calculatrice, sans fil, *via* les cartes micro:bit connectées à chaque calculatrice.

2.2.3.1. Script émetteur : TI-83 du professeur

Le script `EMET_LXY.py` commence par récupérer deux listes `X` et `Y` de données stockées dans les listes de la calculatrice à l'aide de la fonction `recall_list` de la bibliothèque *Python* `ti_system`. Il formate ensuite les données en paires `x:y;`, qu'il concatène dans une chaîne de caractères `data_ch` prête à être transmise par radio (cf. figure 10).

```
for i in range(len(X)):
**duo = "{}:{}".format(int(X[i]
),int(Y[i]))
**data_ch += duo
```

Figure 10 - Formatage des données en paires (x, y) avant envoi par radio.

Lorsque l'utilisateur appuie sur le logo tactile de la carte micro:bit, le transfert est déclenché. Le script utilise une boucle pour envoyer la chaîne `data_ch` par paquets *via* la radio.

2.2.3.2. Script récepteur : TI-83 des élèves

Le script `RECP_LXY.py`, lancé sur les calculatrices des élèves, écoute les messages radio émis par le professeur. Chaque message reçu contient plusieurs couples de valeurs, encodés au format `x:y;` (cf. figure 11).

```
segments=data.strip('><').split(
';')
for d in segments:
**L=d.split(';')
**if len(L)==2:
***x+="{0}".format(int(L[0]))
***y+="{0}".format(int(L[1]))
```

Figure 11 - Traitement des données reçues pour reconstituer les listes `X` et `Y`.

Les données sont ensuite stockées en mémoire dans les listes de la calculatrice avec la fonction `store_list` de la bibliothèque `ti_system`. Ces données peuvent alors être exploitées avec les outils graphiques natifs de la TI-83.

(1) Ces scripts associés sont disponibles en téléchargement (cf. «Ressources complémentaires» en fin d'article).

2.2.4. Résultats expérimentaux et exploitation des données

Une fois le transfert terminé, les élèves peuvent visualiser et exploiter les données sur leur propre calculatrice. La courbe obtenue est une parabole caractéristique d'un mouvement vertical uniformément accéléré : une phase de montée suivie d'une phase de descente. Elle permet aux élèves de mener plusieurs exploitations pédagogiques. Par exemple, en utilisant l'outil de *Régression* de la calculatrice, les élèves peuvent modéliser la trajectoire à l'aide d'une fonction du type : $y(t) = at^2 + bt + c$ (cf. figure 12).

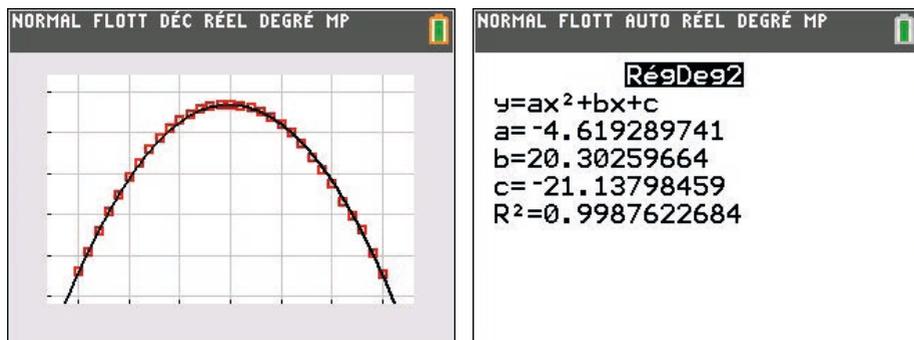


Figure 12 - Modélisation du mouvement parabolique.

En identifiant le coefficient a , et en tenant compte du fait que dans un repère vertical orienté vers le haut, le mouvement suit la relation : $y(t) = -0,5 g t^2 + v_0 t + h_0$. On peut en déduire une estimation expérimentale de la constante de pesanteur g par :

$$g = -2a.$$

Cette modélisation offre une estimation expérimentale de la constante g , donnant ainsi du sens physique aux données issues de la courbe.

CONCLUSION

Associée à la carte micro:bit, la calculatrice TI-83 Premium CE Édition Python devient un véritable laboratoire de poche, accessible à chaque élève. Ce dispositif compact permet de mener des expérimentations complètes – acquisition, traitement, modélisation – en classe, en autonomie, ou même en dehors de la salle de sciences. Il ouvre des perspectives d'apprentissage actives et concrètes, tout en intégrant la programmation de façon naturelle dans la démarche scientifique.

RESSOURCES COMPLÉMENTAIRES

- ◆ Les scripts *Python* utilisés dans les activités sont disponibles en ligne à l'adresse sui-

vante : <https://urlz.fr/uBum> et aussi sur le site de l'UdPPC :

- CINET_P.py : acquisition de pression pour le suivi cinétique ;
- EMET_LXY.py : émission radio des données (calculatrice du professeur) ;
- RECP_LXY.py : réception radio des données (calculatrice des élèves).

- ◆ Espace *Enseignants Physique-Chimie* par Texas Instruments :
<https://education.ti.com/fr/enseignants/ressources-sciences>
- ◆ *Ressources et cahiers d'activités* pour utiliser la calculatrice TI-83 en classe :
<https://education.ti.com/fr/enseignants?category=ressources>
- ◆ *Programmez une carte BBC micro:bit* avec la calculatrice TI-83 :
<https://education.ti.com/fr/produits-ressources/microbit>

Compléments de l'article

Cet article comporte des compléments nommés :

- ◆ CINET_P.py
- ◆ EMET_LXY.py
- ◆ RECP_LXY.py

L'ensemble est disponible sur le site de l'UdPPC sous la forme d'un fichier zippé 10760625.



Fabien BEYAERT

Professeur de sciences physiques
Lycée de l'Europe
Dunkerque (Nord)

NDLR : *Cet article est une publicité rédactionnelle, il n'a donc pas été relu par le comité de lecture de l'UdPPC.*