

DÉCHARGE FLASH

L'utilisation d'un flash est essentielle lorsque l'on souhaite photographier des objets en mouvement ou dans un environnement peu lumineux. Les smartphones sont dotés de LED flash de courte portée, tandis que les appareils photo professionnels utilisent des flashes électroniques, appelés flash cobra (à cause de leur forme rappelant celle du serpent). Ces dispositifs très puissants fonctionnent à partir du passage très bref d'un courant électrique dans une lampe à décharge et sont utilisés couramment, de la photo d'art à la police scientifique.



À gauche : flash cobra électronique ; à droite : le flash permet des temps d'exposition très courts pour figer des objets en mouvement (ici gouttes d'eau dans un verre)

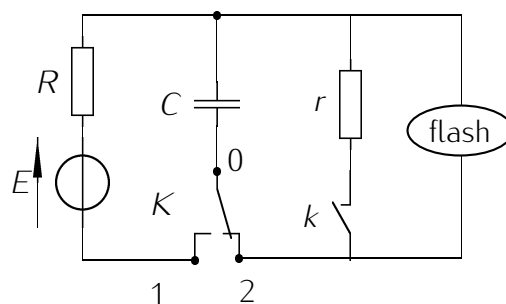
Caractéristiques du flash cobra XXX-XXX
Réglage de puissance : par palier d'1/3
Angle de rotation vertical : -7° à 90°
Angle de rotation horizontale : 0° à 360°
Batterie de 2 000 mAh
650 flashes par batterie
Temps de recharge entre les flashes : $< 1,5$ secondes
Durée du flash : de $1/300$ s à $1/20\,000$ s
Température du flash : $5600\text{ K} \pm 200\text{ K}$
Mise en veille intelligente après 90 secondes d'inactivité (60 minutes en mode slave)
Portée de la transmission sans fil : 100 m
Dimensions : 64 mm x 76 mm x 190 mm
Poids : 430 g sans batterie, 540 g avec batterie.

Caractéristiques d'un flash cobra commercial

Le flash lumineux est produit lorsque l'on applique une haute tension à un tube à décharge contenant le plus souvent du xénon. Le champ électrique dans le tube ionise alors le gaz et il apparaît un courant électrique qui va dissiper l'énergie de la source sous forme thermique et lumineuse. Pour réaliser cette décharge le plus rapidement possible, le tube est en fait directement alimenté par un condensateur préalablement chargé sous une haute tension. Le circuit électronique contient également un transformateur permettant d'atteindre la tension requise et un circuit de coupure pour contrôler la durée du flash. Le tube à décharge peut être modélisé par un dipôle électrique ayant les caractéristiques suivantes :

- Lorsqu'il est éteint, le tube possède une résistance électrique supposée infinie ;
- Le tube s'allume lorsque la tension à ses bornes est supérieure à 150 V ;
- Une fois allumé, il se comporte comme un conducteur ohmique de résistance R_t ;
- Le tube s'éteint si la tension à ses bornes devient inférieure à $U_0 = 50\text{ V}$.

On modélise le circuit d'alimentation du flash par le montage simplifié suivant :



L'alimentation délivre une tension continue $E = 300 \text{ V}$, obtenue à partir de la batterie et d'un montage éleveur de tension (non représentés).

Une séquence d'utilisation du flash suit les étapes suivantes :

- Interrupteur K en position 1 : le condensateur C se charge ;
- On déclenche le flash en mettant l'interrupteur K en position 2 ; ce déclenchement doit être synchronisé très précisément avec l'appareil photo et d'autres flashes éventuels ;
- Un circuit piloté électroniquement ferme enfin l'interrupteur k pour obtenir la durée souhaitée du flash et ainsi la quantité de lumière requise pour la scène à photographier. Une expérience au laboratoire a permis de mesurer une durée maximale du flash de $t_f = 3,9 \text{ ms}$, l'interrupteur k étant maintenu ouvert.

On souhaite déterminer numériquement les caractéristiques du montage correspondant au flash cobra commercial dont les données techniques ont été précisées ci-dessus.

- Q1 1. Le condensateur étant déchargé, on bascule l'interrupteur K sur la position 1. Tracer le schéma du circuit électrique.
- Q2 2. Établir l'équation différentielle qui régit l'évolution de la tension aux bornes du condensateur et la résoudre.
- Q3 3. Que vaut la tension aux bornes du condensateur en régime permanent ?
- Q4 4. Exprimer l'énergie contenue dans le condensateur lorsqu'il est complètement chargé.
- Q5 5. Exprimer la charge portée par le condensateur lorsqu'il est complètement chargé. Cette charge étant prélevée sur la batterie du flash, déduire des données techniques que la capacité C du condensateur utilisé est $C = 37 \text{ mF}$.
- Q6 6. Déterminer un ordre de grandeur de la valeur de la résistance R utilisée dans le circuit de charge.

Le condensateur étant chargé, on déclenche le flash tout en maintenant l'interrupteur k ouvert.

- Q7 7. Proposer un protocole expérimental permettant de mesurer la durée Δt du flash lumineux obtenu.
- Q8 8. Tracer le schéma du circuit électrique lorsque K est sur la position 2 et que k est ouvert. Établir l'équation différentielle qui régit l'évolution de la tension aux bornes du condensateur.
- Q9 9. Résoudre l'équation obtenue, tracer l'allure de la tension et montrer que :

$$R_t = \frac{t_f}{C \ln \left(\frac{E}{U_0} \right)}$$

- Q10 10. En déduire la valeur de R_t .
- Q11 11. Que vaut l'énergie encore stockée dans le condensateur à l'instant t_f ? En déduire l'énergie lumineuse maximale libérée par le flash et la puissance lumineuse correspondante.

Le circuit électronique de rupture contrôle à présent la durée du flash à l'aide de l'interrupteur commandé k .

- Q12 12. Tracer le schéma du circuit électrique lorsque k est fermé. On choisit $r \ll R_t$, comment le circuit se simplifie-t-il ? (*Attention à ne pas répondre trop vite !*)
- Q13 13. Le condensateur étant chargé, l'interrupteur K passe, à l'instant $t = 0$, de la position 1 à la position 2, puis k est fermé à l'instant $t = \Delta t < t_f$. Tracer l'allure de la tension aux bornes du condensateur pour $0 \leq t \leq t_f$. On ne demande pas de résoudre d'éventuelles équations différentielles, mais uniquement un tracé qualitatif.

- Q14 14. Montrer que le flash lumineux a une durée Δt , puis que l'énergie lumineuse libérée est

$$E_c = \frac{1}{2}CE^2 \left(1 - \exp \left(-2\frac{\Delta t}{R_t C} \right) \right)$$

- Q15 15. Évaluer numériquement l'énergie lumineuse libérée par le flash le plus long et le flash le plus court commandé par le circuit de rupture, ainsi que les puissances correspondantes. Commenter.
Dans certains cas, la tension d'alimentation E peut être adaptée automatiquement pour que l'énergie lumineuse libérée par le flash ne dépende pas de la durée de celui-ci (i.e. soit toujours égale à la valeur trouvée à la question 11).
- Q16 16. Calculer la tension E requise pour le flash le plus long et le flash le plus court. Commenter.
- Q17 17. Combien de flashes courts peut-on espérer obtenir avec la batterie du flash cobra ?

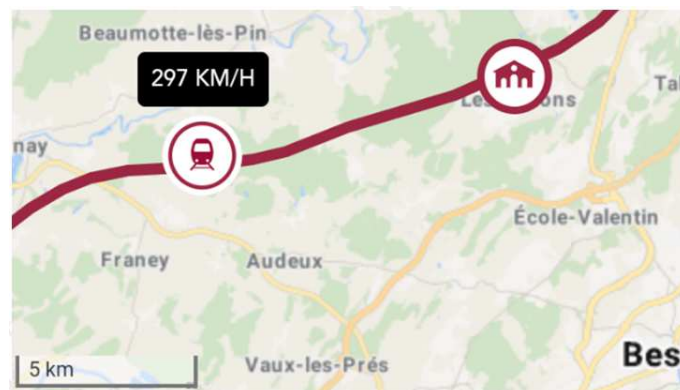
ARRÊT À UNE GARE

Dans le cadre d'une étude des temps de trajets entre gares ferroviaires, on cherche à calculer le temps perdu par un TGV lors d'un arrêt intermédiaire sur une ligne à grande vitesse. Pour cela, on se base sur les données suivantes :

- la vitesse de croisière d'un TGV vaut $V_0 = 300$ km/h,
- la distance d'arrêt à cette vitesse vaut $L_d = 9$ km,
- au redémarrage, le TGV met $\tau_a = 6$ min pour revenir à la vitesse V_0 ,
- la durée de l'arrêt à la gare est de $\tau = 3$ min.

- Q18 1. Exprimer puis calculer la durée supplémentaire $\Delta\tau$ du trajet d'un TGV engendrée à chaque arrêt à une gare intermédiaire. Pour cela, on supposera que les phases de freinage et de redémarrage se font à décélération et accélération constantes.

On désire vérifier si la phase de freinage se fait bien à décélération constante. Pour cela, des mesures de vitesses instantanées ont été récupérées en temps réel à bord du train sur le portail internet « TGV INOUI ». L'image ci-dessous est une capture d'écran de la page de suivi du trajet que propose le site, prise au début de la phase de freinage pour un arrêt à la gare Besançon Franche-Comté TGV depuis la gare de Dijon-Ville.



La vitesse du TGV a été mesurée toutes les 10 secondes à partir du moment où sa vitesse est passée sous la barre des 300 km/h, les données sont rassemblées dans le tableau suivant.

date (s)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
vitesse (km/h)	300	295	280	267	262	254	239	224	209	196

date (s)	10	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
vitesse (km/h)	179	165	153	133	98	75	45	30	15	11	0

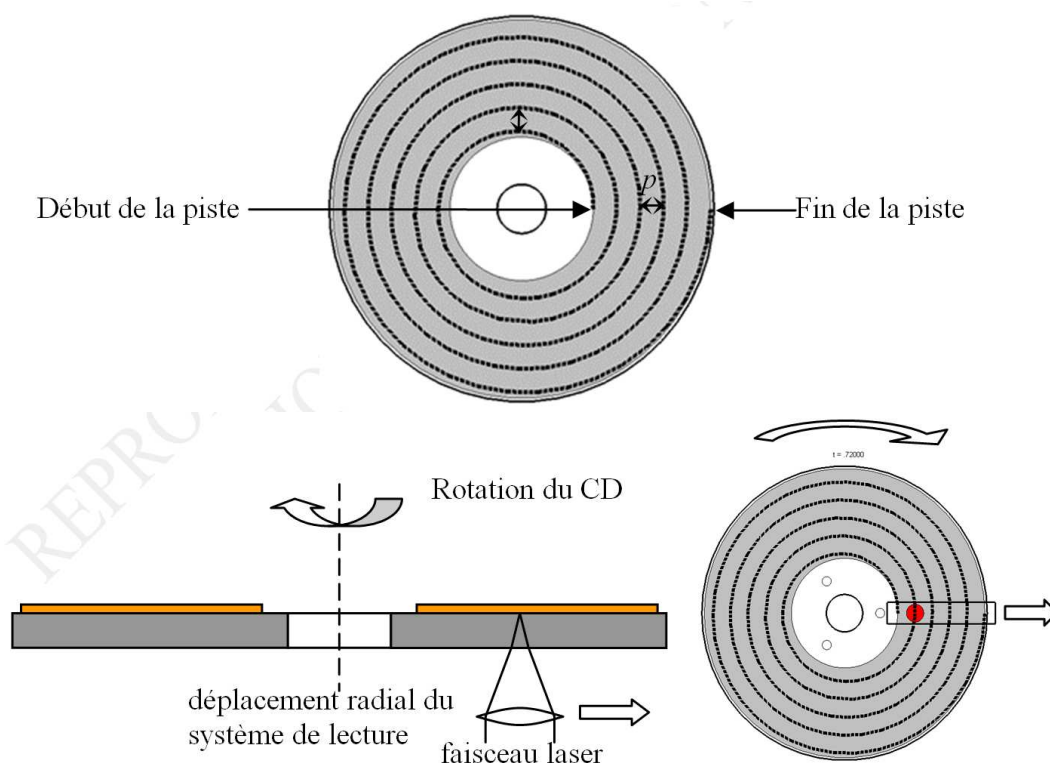
- Q19 2. Tracer la courbe donnant la vitesse du TGV en fonction du temps lors de la phase de freinage sur la feuille de papier millimétrée fournie en annexe.

- Q20 3. Pensez-vous que l'hypothèse d'une décélération constante est satisfaisante ?
- Q21 4. La distance parcourue lors du freinage est $L_d = \int_0^{\tau_d} v(t)dt$. On rappelle que l'aire d'un trapèze, de hauteur h , de petite base b et de grande base B , est donnée par la formule $S = \frac{b+B}{2}h$. Justifier que L_d peut être estimée par la formule suivante :
- $$L_d = \left(\frac{v(t_0)}{2} + \sum_{k=1}^{19} v(t_k) + \frac{v(t_{20})}{2} \right) T_e,$$
- où $T_e = 10$ s et les instants t_k sont les instants tels que $t_k = kT_e$ avec $0 \leq k \leq 20$.
- Q22 5. Comparer cette valeur de L_d à la valeur que l'on peut estimer à partir de la capture d'écran.
- Q23 6. En déduire une estimation plus précise de la valeur numérique de Δt .

ÉTUDE D'UN CD

Le CD (acronyme anglais de Compact Disc) est un support de stockage de données sous forme numérique dont la commercialisation date de 1982. Il fait partie de la famille des disques optiques, qui s'est élargie en 1995 par la sortie du DVD (Digital Versatile Disc) et par celle du Blu-ray en 2003. Le principe de lecture est commun à ces différents disques : le terme « optique » s'explique par l'utilisation d'une lumière visible (ou proche infra-rouge dans le cas du CD) cohérente (émise par une diode laser) balayant la surface du disque sur laquelle sont inscrites les données. Ces dernières sont réparties le long d'une piste en forme de spirale, celle-ci étant constituée d'un alignement d'alvéoles de taille microscopique contenant l'information. On définit le pas p de la piste par la distance entre deux lignes d'alvéoles consécutives, visible sur la figure ci-dessous, valant $p = 1,59 \mu\text{m}$ pour un CD d'une capacité de 650 Mio (format standard).

On distingue deux mouvements lorsque le lecteur CD lit les informations présentes sur le disque. D'une part, l'appareil fait tourner le CD autour de son axe. D'autre part, le système de lecture effectue un mouvement de translation le long d'un rayon du CD, comme l'illustre la figure ci-dessous.



Ces deux mouvements sont couplés par un système complexe d'asservissement de manière à ce que le faisceau laser soit focalisé en permanence sur la piste en spirale afin de lire en continu les données. Par souci de simplicité,

on raisonne dans le référentiel lié au CD et l'on désire étudier le mouvement du point de focalisation du laser sur le disque, appelé « spot laser ». Le début et la fin de la piste d'un CD audio se situent à une distance du centre du CD respectivement $r_0 = 25 \text{ mm}$ et $r_F = 58 \text{ mm}$. On utilise pour repérer un point sur la surface du CD les coordonnées polaires (r, θ) . On pose arbitrairement que le début de la piste se trouve à $\theta = 0$.

- Q24 1. En admettant que l'équation de la piste soit de la forme $r(\theta) = A\theta + B$, déterminer A et B en fonction de r_0 et p . Aide : après un tour, le spot a avancé du pas p selon $\vec{e}_r$.
- Q25 2. En déduire l'expression de l'angle θ_1 tel que $r(\theta_1) = r_F$ (on l'exprimera en fonction de p , r_0 et r_F) puis le nombre de tours effectués par le CD pendant une lecture complète.

Lors de la lecture d'un CD audio, la vitesse de défilement, correspondant à la vitesse du spot laser dans le référentiel du CD, est constante, notée $V_0 = 1,22 \text{ m.s}^{-1}$.

- Q26 3. Représenter la base polaire $(\vec{e}_r, \vec{e}_\theta)$ et exprimer les vitesses radiale v_r et orthoradiale v_θ du spot laser en fonction de r et θ ainsi que de leurs dérivées.
- Q27 4. Relier v_r , v_θ et V_0 . Justifier avec soin pourquoi cette relation peut se simplifier en $v_\theta \simeq V_0$ et qu'ainsi le vecteur déplacement élémentaire peut s'écrire $d\vec{OM} = r d\theta \vec{e}_\theta$
5. La longueur de la piste de lecture est donnée par

$$L = \int_{\text{début}}^{\text{fin}} |d\vec{OM}|$$

- Q28 En déduire que la longueur de la spirale stockée sur un CD s'obtient en calculant

$$L = \int_0^{\theta_1} r d\theta$$

- Q29 6. Montrer que $L = \pi \frac{r_1^2 - r_0^2}{p}$.
- Q30 7. Quelle est la durée totale de lecture d'un CD? En déduire la taille des éléments constituant le codage binaire (en bit). On rappelle que 1 octet = 8 bits.
- Q31 8. Le CD lancé initialement à une vitesse angulaire $\omega_0 = 300$ tours par minute subit une décélération angulaire uniforme $\dot{\omega} = -\gamma_0$ et s'arrête au bout de $t_1 = 10 \text{ s}$. Exprimer $\omega(t)$ et en déduire la valeur de γ_0 puis le nombre de tours effectués avant de s'arrêter.
- Q32 9. Un CD pèse 23g estimez sa masse surfacique (masse par unité de surface).
10. On considère un petit morceau du CD de surface 1 mm^2 à la périphérie dans un lecteur 32X, c'est-à-dire un lecteur pour lequel la vitesse de défilement vaut $32 \times V_0$. Quelle est la nature de la trajectoire? Le mouvement est-il uniforme? En déduire $a = |\vec{a}|$ la norme de l'accélération pour ce morceau de CD lorsque le CD tourne à sa vitesse maximale et faire l'application numérique.
- Q33
- Q34 11. À l'aide de la seconde loi de Newton, en déduire F la norme de la résultante des forces exercées sur ce morceau de CD. Comparer à son poids. Commenter.