

## Evaluation d'une résolution de problèmes

### Combien de photons pour une photo ? (d'après Capes 2013)

#### 1. Enoncé.

Nous allons ici considérer le cas de la photographie numérique, avec comme objectif la détermination du nombre de photons par pixel nécessaires à la réalisation d'une photographie de qualité.

Pour cette détermination, le candidat pourra s'appuyer sur les documents ci-dessous et introduire toute grandeur qu'il jugera utile à la résolution du problème. Certaines informations données ne sont pas directement utiles à la résolution et d'autres, qui relèvent de la culture générale, ne sont pas rappelées ; le candidat devra donc faire preuve d'initiative.

#### Document numéro 1 :

Les données techniques relevées sur le site d'un revendeur d'appareils photos, concernant un appareil réflex moyenne gamme sont :

- Taille du capteur C.C.D. :  $18 \times 13,5 \text{ mm}^2$
- Nombre de pixels : 12 millions
- Focale de l'objectif : 50mm
- Ouverture de l'objectif : f/3,5-5,6
- Vitesse d'obturation : de 60 à 1/4000 sec.

#### Document numéro 2 :

Photo de l'appareil photo



#### Document numéro 3 :

D'après l'article "La lumière, c'est combien de photons" ; Pour la Science ; Octobre Décembre 2006

- Texte 1 :

Compter les photons à l'unité c'est ce que réalisent les détecteurs des appareils photos numériques : les C.C.D. (*charge coupling device*). Le détecteur C.C.D. est un damier de détecteurs élémentaires, les photosites. Chacun d'eux est composé d'une jonction de matériaux semi-conducteurs. Chaque photon incident extrait un électron de l'un des matériaux de la jonction. L'électron libéré traverse la jonction et est collecté dans un condensateur électrique associé à chaque photosite.

- **Texte 2 :**

L'énergie solaire qui nous parvient du Soleil atteint un kilowatt par mètre carré lorsque le Soleil est au zénith. Lors d'une prise de vue de jour, les objets éclairés renvoient dans toutes les directions la lumière solaire. Le flux de photons nous parvenant de ces objets vaut un centième du flux solaire.

- **Texte 3 :**

Les photons arrivent au hasard sur le détecteur, à la manière des gouttes de pluies sur une vitre de voiture. Le nombre de photons reçus par pixel fluctue d'une grandeur égale à la racine carrée de la moyenne de ce nombre. Si l'on photographie une page uniformément blanche de sorte que 100 photons arrivent en moyenne sur un pixel, on constate que le nombre de photons reçus par pixel varie de 90 à 110. De telles variations de 10 % sont visibles sur l'image. En revanche pour 10000 photons en moyenne les fluctuations typiques sont de 100, soit de un pour cent : elles restent invisibles à l'œil.

**Question** À partir de ces documents et en introduisant toute grandeur pertinente utile à votre résolution, déterminer un ordre de grandeur du nombre de photons qui, en plein jour, parviennent sur un pixel de l'appareil photo envisagé. On explicitera la démarche et on analysera soigneusement le résultat obtenu.

## 2. Un exemple de solution.

- **Passage d'une puissance surfacique à une puissance.** On note  $\Phi$  la puissance surfacique et  $d$  le diamètre de l'objectif à l'entrée de l'appareil photo. On évalue la puissance  $P$  qui rentre dans l'appareil photo, on supposera par la suite que celle-ci est reçue par le capteur CCD. On a donc  $P = \Phi \frac{\pi d^2}{4}$ . On trouve numériquement  $P = 6.10^{-3} W$ . Naturellement un candidat connaisseur pourra faire intervenir le diaphragme qui limite en réalité le flux lumineux. Par exemple pour une ouverture de  $f/3,5$ , ce diaphragme a un diamètre de  $50/3,5 = 14$  mm environ.
- **Passage d'une puissance à une énergie.** On suppose qu'il y a beaucoup de lumière et on multiplie par le temps de pose le plus court :  $\Delta t = 1/4000 s$ , l'énergie reçue  $E$  vaut donc  $E = P\Delta t = 1,5.10^{-6} J$ .
- **Passage d'une énergie à un nombre de photons.** L'énergie d'un photon est donnée par l'expression  $h\nu = \frac{hc}{\lambda}$  ; on peut prendre une longueur d'onde représentative du domaine du visible :  $\lambda = 550 nm$  par exemple. On en déduit que le nombre de photons  $N$  reçu par le capteur CCD est égal à :  $N = \frac{E}{\frac{hc}{\lambda}} \approx 4.10^{12}$ .
- **Nombre de photons reçus par pixel.** Il suffit de diviser le résultat précédent par le nombre de pixels du capteur CCD pour trouver le nombre  $n$  de photons reçus par un pixel :  $n \approx 300000$ .
- **Commentaire.** Le nombre de photons reçu est suffisant, les fluctuations sont de 500 environ et donc représentent 0,2 % ...la photo réalisée est donc techniquement de qualité.

### 3. Analyse.

Cette activité proposée possède les caractéristiques d'une résolution de problèmes :

- Les étapes de la résolution ne sont pas données.
- La démarche de résolution n'est pas unique, en particulier la succession des étapes peut s'effectuer de plusieurs manières.
- Il n'y a pas une réponse unique à la question, beaucoup de paramètres sont à l'initiative du candidat : surfaces, durées, fréquences...
- Il y a des données manquantes (choix de la fréquence et donc de l'énergie d'un photon représentatif du domaine du visible,...)
- On peut améliorer l'évaluation faite en ajoutant des connaissances sur la photographie : notion d'ouverture et lien entre durée d'exposition et niveau de luminosité...
- Il faut donner du sens au résultat final obtenu.

**Cette activité mobilise les compétences suivantes :**

#### **S'approprier le problème**

- Identifier les grandeurs physiques pertinentes, leur attribuer un symbole :  $P$ ,  $E$ ,  $\Delta t$ ,..
- Évaluer quantitativement les grandeurs physiques inconnues et non précisées : puissance, énergie,...
- Lire attentivement les documents joints.

#### **Établir une stratégie de résolution (analyser)**

- Analyser les documents support et identifier les informations pertinentes.
- Décomposer le problème en problèmes plus simples : ici la notion « d'étapes ».
- Énoncer les lois physiques qui seront utilisées : lien puissance surfacique-puissance, énergie-puissance, énergie d'un photon...

#### **Mettre en œuvre la stratégie (réaliser)**

- Savoir mener efficacement les calculs analytiques et la traduction numérique.
- Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée.

#### **Avoir un regard critique sur les résultats obtenus (valider)**

- S'assurer que l'on a répondu à la question posée.
- Analyser les conséquences du résultat obtenu en s'appuyant sur des informations fournies.

#### **Rédiger la solution (communiquer)**

- Expliquer le raisonnement et décrire la démarche suivie.
- Présenter les résultats en utilisant un mode de représentation approprié.

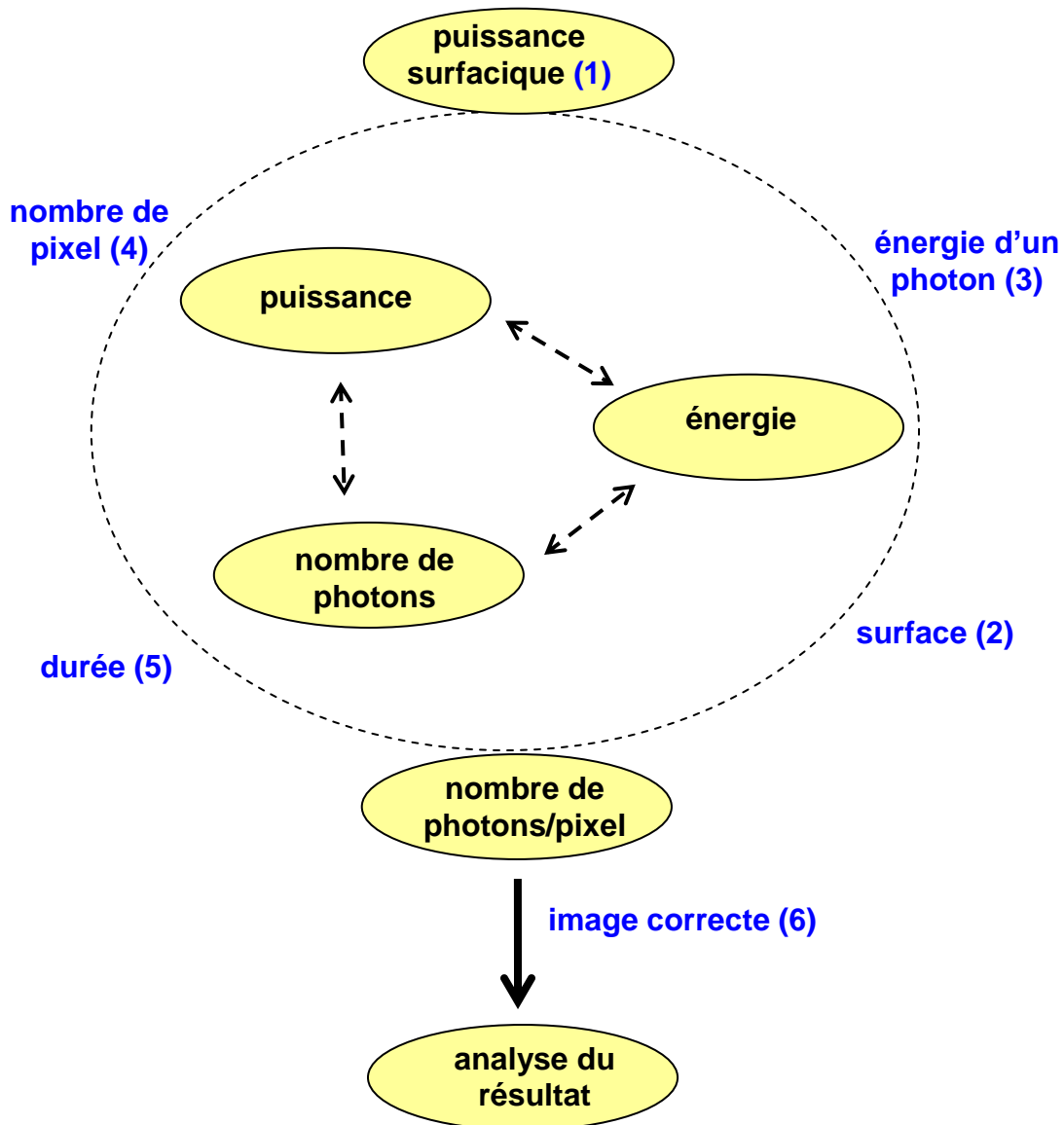
### 3. Evaluation de l'activité : version 1.

Cette évaluation est basée sur l'appréciation quantitative du nombre "d'étapes de résolution" abordées avec succès. Elle est ancrée sur les données clés de l'énoncé et sur l'identification des étapes de la résolution.

- Les données clés :

- donnée 1 : la puissance surfacique moyenne disponible lors d'une prise de vue (texte 2).
- donnée 2 : la surface traversée par les photons qui parviennent au capteur CCD. *A priori* on prendra une surface de diamètre 2,7 cm car la définition de l'ouverture d'un appareil photographique n'est en général pas connue et n'est pas rappelée (documents 1 et 2).
- donnée 3 : énergie d'un photon typique du visible, cette donnée est absente, le candidat doit faire preuve d'initiative.
- donnée 4 : nombre de pixels atteints par la lumière (document 1 : le choix est fixé)
- donnée 5 : la durée de l'ouverture (document 1, là encore le candidat doit faire preuve d'initiative)
- donnée 6 : le nombre de photons par pixel permettant d'avoir une image correcte (texte 3)

- Schéma d'analyse des démarches :



- Les données les données 1 et 6 ne jouent pas le même rôle que les autres car ce sont des points de départ ou d'arrivée pratiquement imposés.
- On identifie ainsi une étape comme le passage d'une bulle à une autre. Une étape se réalise en utilisant une donnée de manière cohérente. Il faut s'adapter à l'analyse du candidat par exemple on peut imaginer une première étape où un candidat évalue un nombre de photons par unité de temps et de surface en utilisant la donnée 3 (une étape) ou bien un nombre de photon par unité de surface pour une durée cohérente (données 3 et 5), on considère alors qu'il a fait deux étapes en une.

- **Éléments indicatifs du barème :**

**Introduction :**

- Il convient de s'adapter car on ne peut pas lister toutes les démarches possibles.
- Le doute doit bénéficier au candidat car on n'est pas dans un schéma habituel de résolution d'un exercice guidé.
- Une résolution à 8 points n'est pas forcément parfaite mais toutes les étapes sont présentes et pertinentes, par exemple, on accepte une faute numérique finale si elle est suivie d'une bonne analyse.
- Une résolution juste dans son principe (au moins les 4 premières étapes) mais non accompagnée d'applications numériques ne mérite pas plus de 5 points, c'est une manière d'insister sur l'importance des ordres de grandeur en physique.

**Le barème :**

|                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b><u>Pas de résolution</u></b><br/>(moins d'une étape)</p>             | <p><b>0</b> : aucun élément valorisable<br/> <b>1</b> : un ou (deux) élément valorisable : formule juste (énergie du photon, relation puissance énergie,...) mais non contextualisé.<br/> <b>2</b> : une étape décrite de manière pertinente, avec ou sans application numérique.</p>                           |
| <p><b><u>Résolution partielle</u></b><br/>(deux ou trois étapes)</p>       | <p><b>3</b> : deux étapes avec au moins une application numérique cohérente.<br/> <b>4</b> : deux étapes avec application numérique cohérente ou bien trois étapes décrites avec au moins une application numérique cohérente.<br/> <b>5</b> : trois étapes avec 2 ou 3 applications numériques cohérentes.</p> |
| <p><b><u>Résolution satisfaisante</u></b><br/>(au moins quatre étapes)</p> | <p><b>6</b> : quatre étapes avec au moins 2 applications numériques cohérentes.<br/> <b>7</b> : quatre étapes avec 3 applications numériques cohérentes.<br/> <b>8</b> : cinq étapes avec analyse cohérente et au moins 3 applications numériques cohérentes.</p>                                               |

**Commentaires :**

- La donnée d'un schéma d'analyse des démarches dispense de produire un listing complet des solutions et permet de la souplesse dans la gestion des situations non prévues et qui ne manqueront pas de se produire. L'esprit de l'évaluation est posé clairement.
- Ce mode d'évaluation est voisin d'une approche classique de la notation : susceptible de mettre en confiance les correcteurs et d'assurer dans un premier temps une bonne cohérence, compte tenu de la culture existante de l'évaluation.
- Evaluation complexe et un peu rigide.

- Ce mode d'évaluation est peu compatible avec une approche par compétences de l'activité « résolution de problèmes ». Si l'enseignant désire, par souci d'efficacité, asseoir une formation de ses élèves tout au long de l'année sur l'acquisition des principales compétences mobilisées par cette activité, il semble naturelle voir indispensable de structurer cette évaluation autour des compétences. C'est pour cela qu'il semble indispensable de proposer un mode d'évaluation articuler autour des compétences.

#### 4. Evaluation de l'activité : version 2.

L'évaluation proposée ci-dessous est plutôt centrée sur les compétences mobilisées lors de l'activité « résolution de problèmes » que sur l'appréciation quantitative du nombre "d'étapes de résolution" abordées avec succès. L'idée d'une décomposition en étapes intermédiaires de résolution est naturellement conservée.

Une telle approche semble plus en cohérence avec un travail de formation à la "résolution de problèmes" axé sur l'acquisition de compétences. Ce travail de formation permet à l'élève, indépendamment de situation abordée, de mesurer ses progrès, d'identifier ses difficultés...et à l'enseignant d'organiser sa progression sur toute l'année et de personnaliser davantage son action en direction des élèves.

- **Les Compétences mobilisées dans la résolution de problèmes et exemples de capacités associées :**

Le tableau ci-dessous vise à identifier les compétences, les capacités listées permettent de mieux cerner les contours des compétences sans pour autant viser l'exhaustivité.

| <b>Compétences</b>                                                     | <b>Exemples de capacités (liste non exhaustive)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>S'approprier le problème</b>                                        | Faire un schéma modèle.<br>Identifier les grandeurs physiques pertinentes, leur attribuer un symbole.<br>Évaluer quantitativement les grandeurs physiques inconnues et non précisées.<br>Relier le problème à une situation modèle connue.<br>....                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Établir une stratégie de résolution</b><br>(analyser)               | Décomposer le problème en des problèmes plus simples.<br>Commencer par une version simplifiée.<br>Expliciter la modélisation choisie (définition du système, ...).<br>Déterminer et énoncer les lois physiques qui seront utilisées.<br>.....                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Mettre en œuvre la stratégie</b><br>(réaliser)                      | Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée.<br>Savoir mener efficacement les calculs analytiques et la traduction numérique.<br>...                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Avoir un regard critique sur les résultats obtenus</b><br>(valider) | S'assurer que l'on a répondu à la question posée.<br>Vérifier la pertinence du résultat trouvé, notamment en comparant avec des estimations ou ordres de grandeurs connus.<br>Comparer le résultat obtenu avec le résultat d'une autre approche (mesure expérimentale donnée ou déduite d'un document joint, simulation numérique, ...).<br>Étudier des cas limites plus simples dont la solution est plus facilement vérifiable ou bien déjà connue.<br>... |
| <b>Rédiger la solution</b><br>(communiquer)                            | Expliquer le raisonnement et décrire la démarche suivie.<br>Présenter les résultats en utilisant un mode de représentation approprié.<br>....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

- **Identification des points forts de cette résolution de problèmes :**

## **S'approprier le problème**

Deux points essentiels dans cette partie :

- identifier les grandeurs physiques pertinentes, leur attribuer un symbole :  $P$ ,  $E$ ,  $\Delta t$ ,...
- lire attentivement les documents joints.

## **Établir une stratégie de résolution**

C'est le cœur du travail à conduire et sans doute la compétence la plus mobilisée. Donc pas conséquence celle qu'il faudra valoriser le plus au cours de l'évaluation.

- identifier les étapes principales en mettant en évidence le point de départ, le point d'arrivée et les étapes intermédiaires.
- faire preuve d'initiative pour faire émerger l'idée d'un comptage de photons.
- établir un schéma de résolution.

## **Mettre en œuvre la stratégie**

A priori plus simple (si la stratégie de résolution a été élaborée) car chaque étape présente une technicité modeste compte-tenu du niveau « académique » des candidats. L'aspect numérique n'est pas à négliger et l'initiative est présente avec, en particulier, un choix de longueur d'onde à effectuer. L'évaluation valorisera cette partie numérique.

## **Avoir un regard critique sur les résultats obtenus**

Partir plutôt simple, en dehors de situations extrêmes, on ne peut pas exiger des candidats qu'ils connaissent *a priori* des ordres de grandeur, l'essentiel consiste à s'assurer d'avoir bien répondu à la question et à juger de la qualité de l'image.

## **Rédiger la solution**

La capacité à expliquer le raisonnement et décrire la démarche suivie et à présenter les résultats, participe à l'évaluation du niveau de maîtrise des autres compétences mais il convient de l'identifier spécifiquement de manière à pouvoir faire un constat spécifique soulignant certaines qualités ou certains manques.

La grille d'évaluation doit être le reflet des points forts mobilisés par l'activité. Dans le passage à l'évaluation, il est possible de choisir de laisser certaines compétences en « observation », en particulier en cours de formation. Cela permet de mettre l'accent sur telle ou telle compétence que l'on désire plus spécifiquement travailler.

- Exemple de grille d'évaluation basée sur les compétences :

**Combien de photons pour une photo ?** (D'après Capes 2013)

| Compétences         | Observables possibles                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Niveau de maîtrise (poids relatif) |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| <b>S'approprier</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- identifier et nommer les grandeurs physiques pertinentes : <math>P</math>, <math>E</math>, <math>\lambda</math>...</li> <li>- lire attentivement des documents :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- extraire des valeurs numériques de grandeurs pertinentes : nombre de pixels, vitesse d'obturation, diamètre de l'objectif, flux solaire parvenant aux objets,...</li> <li>- donner du sens à un texte : « juger de la qualité d'une photo »</li> </ul> </li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <b>A B C D</b><br><br>**           |
| <b>Analyser</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- identifier les principales étapes de la résolution</li> <li>- introduire l'idée d'un comptage de photons</li> <li>- proposer un schéma de résolution<sup>1</sup></li> </ul> <p>Le diagramme illustre le processus de résolution. Il commence par 'puissance surfacique' (en haut), qui est reliée à 'puissance' (à gauche) et 'énergie' (à droite) par des double-flèches. 'puissance' est reliée à 'nombre de photons' (en bas) par une double-flèche. 'énergie' est reliée à 'nombre de photons' par une double-flèche. 'nombre de photons' est relié à 'nombre de photons/pixel' (en bas) par une double-flèche. 'nombre de photons/pixel' est relié à 'analyse du résultat' (en bas) par une double-flèche. Les éléments 'puissance', 'énergie', et 'nombre de photons' sont regroupés dans un ovale pointillé.</p> | <b>A B C D</b><br><br>*****        |
| <b>Réaliser</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- utiliser les lois adaptées reliant les différentes grandeurs : puissance-surfacique/puissance, puissance-énergie, énergie nombre de photons, nombre de photons par pixel.</li> <li>- vérifier l'homogénéité des formules, effectuer correctement les applications numériques et utiliser les unités adaptées</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>A B C D</b><br><br>****         |
| <b>Valider</b>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- identifier d'éventuelles valeurs aberrantes</li> <li>- juger de la qualité de la photo</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>A B C D</b><br><br>**           |
| <b>Communiquer</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- expliquer le raisonnement et décrire la démarche suivie</li> <li>- utiliser le langage des mathématiques de manière rigoureuse</li> <li>- présenter les résultats de manière adaptée (unités, chiffres significatifs...)</li> <li>- soigner et rédiger de manière adaptée</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>A B C D</b><br><br>**           |
|                     | <b>Bilan de l'activité</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                    |

- Pour l'évaluation chiffrée finale on peut identifier des niveaux de maîtrise A, B, C, D par exemple et élaborer la note finale attribuée à l'aide d'un système semblable à l'ECE : définition d'un poids relatif pour chaque compétence et calcul automatique de la note finale avec l'idée de pouvoir mettre la note maximale à diverses solutions même « non parfaites » mais que l'on juge suffisamment abouties.

<sup>1</sup> Le schéma en tant que tel n'est pas demandé, il ne doit pas être exigé. Il est donc facultatif en tant que schéma mais la réponse doit faire apparaître sous une forme ou une autre les étapes de la résolution.