

**LES TÉMOINS DU CLIMAT · PARCOURS 2**

**VERS UNE IDENTIFICATION AUTOMATIQUE  
DES FORAMINIFÈRES**

Mallette pédagogique *Les témoins du climat*

Impression : mai 2021

Illustration et graphisme des couvertures et de la boîte : Coline Aubert

Conception et réalisation des supports pédagogiques : les Petits Débrouillards et le Cerege



## LES TEMOINS DU CLIMAT

*Durée : parcours sur plusieurs séances*

Act  
1

### LA CLASSIFICATION DES ÊTRES VIVANTS

Pour identifier des êtres vivants, il est souvent nécessaire de les classer, en se basant sur leurs points communs et leurs différences. L'identification des foraminifères se fait généralement en observant les particularités de leurs tests. Cette activité propose dans un premier temps de découvrir une classification de quelques escargots terrestres, basée sur l'aspect de leur coquille, et d'identifier des échantillons de coquilles d'escargots. On se servira ensuite du même principe pour créer une clé de détermination de quelques espèces de foraminifères.

**Transition vers l'activité 2 :** avant de pouvoir identifier des foraminifères il faut pouvoir les trier dans un échantillon. Comment le faire de façon automatique ?

Act  
2

### AUTOMATISER LE TRI DES TESTS DE FORAMINIFÈRES

Cette activité se présente sous forme de défi. On dispose de billes représentant des tests de foraminifères. Il faut imaginer et construire un système permettant de les séparer afin de pouvoir les prendre une par une en photo. Un système automatisé développé en laboratoire sera ensuite présenté.

**Transition vers l'activité 3 :** Les photos obtenues en laboratoire servent de base pour une identification automatique des foraminifères. Comment le faire à l'aide d'un ordinateur ?

Act  
3

### COMMENT UN ORDINATEUR VOIT-IL UN FORAMINIFÈRE ?

Pour comprendre comment se fait l'identification des foraminifères par ordinateur, il est nécessaire de comprendre ce qu'est une image numérique. Cette activité permettra d'aborder la notion de pixels et de qualité d'image. En construisant à la main l'image numérique d'un test de foraminifère, on comprendra mieux ce qu'un ordinateur "voit".

**Transition vers l'activité 4 :** comment un ordinateur peut-il reconnaître un foraminifère après avoir "vu" l'image de son test ?

## LES TEMOINS DU CLIMAT

Act  
4

### DES NEURONES ARTIFICIELS POUR IDENTIFIER LES FORAMINIFÈRES

Cette activité permet de découvrir comment se fait la reconnaissance d'image par ordinateur à l'aide de réseaux de neurones artificiels. Dans un premier temps il s'agira de comprendre le fonctionnement d'un neurone biologique, puis celui d'un neurone artificiel. On découvrira ensuite qu'un ordinateur peut apprendre à reconnaître des images, grâce à des jeux de reconnaissance d'images et de création de bases de données.

**Transition vers l'activité 5 :** les ordinateurs peuvent apprendre à reconnaître des images. Grâce à cela on peut leur apprendre à identifier des foraminifères. Mais peuvent-ils commettre des erreurs d'identification ?

Act  
5

### RECONNAISSANCE D'IMAGES : LES PIÈGES

Grâce à des exemples, cette activité permet de découvrir que, bien qu'avancée, la reconnaissance d'images par ordinateur n'est pas toujours fiable, et nécessite encore des améliorations ou des ajustements. Les chercheurs doivent donc prêter attention aux erreurs que peuvent commettre les ordinateurs lors de l'identification des foraminifères. Il existe néanmoins des solutions permettant d'améliorer cette identification automatique. Ceci pris en compte, ces technologies avancées permettent de faire gagner un temps précieux aux chercheurs.

**On conclura sur une comparaison entre les méthodes d'identification manuelle et automatique des foraminifères, ainsi que leurs avantages et inconvénients respectifs.**



# Act 1

## LA CLASSIFICATION DES ÊTRES VIVANTS

### Partons d'un questionnaire :

Il existe une grande diversité d'êtres vivants. Il peut donc être difficile de les trier pour pouvoir les reconnaître par la suite. Mais il existe des méthodes pour les classer et les regrouper. Cette activité permet de découvrir ces méthodes de classement, et d'en créer une pour les foraminifères.

### Matériel :

- Images d'animaux à classer (annexe 1)
- Images de coquilles d'escargot (annexe 2)
- Clé de détermination d'espèces d'escargot (annexe 3)
- Images de tests de foraminifères pour créer une clé de détermination (annexe 4)
- Proposition de clé de détermination de foraminifères (annexe 5)
- Photos de tests de foraminifères à identifier (annexe 6)
- Facultatif : Microscope
- Echantillons de coquilles d'escargot et de tests de foraminifères

### COMMENT CLASSER DES ÊTRES VIVANTS ?

#### Protocole :

On se limitera ici à la classification de certaines espèces animales.

Présenter aux enfants les photos d'animaux de l'annexe 1 et leur expliquer que le but de l'activité est de les regrouper afin de les classer. Les enfants élaborent une liste de caractéristiques morphologiques (et d'autres s'ils le formulent, comme le régime alimentaire, le lieu de vie, le mode de reproduction par exemple) permettant de décrire ces espèces animales. Regrouper ensuite les animaux en fonction de leurs caractéristiques communes. Discuter autour des critères choisis : la classification leur paraît-elle satisfaisante ? Les enfants connaissent-ils d'autres animaux que l'on pourrait classer selon ces critères ?

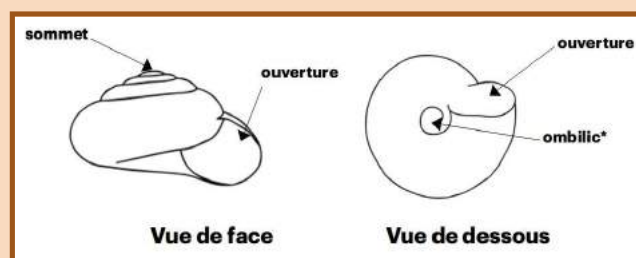
### UTILISER UN OUTIL D'IDENTIFICATION D'ESPÈCES D'ESCARGOTS

#### Protocole :

- Montrer aux enfants les images de coquilles d'escargots terrestres de l'annexe 2 et leur expliquer qu'ils vont essayer de retrouver le nom de l'espèce correspondante en utilisant un outil d'identification, qu'on appelle clé de détermination. Cet outil leur permettra d'identifier les espèces progressivement, en triant leurs coquilles selon des critères morphologiques.

Que doivent observer les enfants ? Voient-ils des différences entre les coquilles ?

- Le schéma suivant montre les différentes parties spécifiques d'une coquille d'escargot, que l'on doit observer pour déterminer son espèce.



\*ombilic : petit orifice central parfois présent sur la face inférieure de la coquille

Schéma d'une coquille d'escargot



## UTILISER UN OUTIL D'IDENTIFICATION D'ESPÈCES D'ESCARGOTS (SUITE)

### Protocole :

Essayer de retrouver le nom des espèces d'escargot à partir des photos de leurs coquilles, en utilisant la clé de détermination proposée (annexe 3).

Puis faire de même avec les échantillons de coquilles d'escargot fournis (des espèces supplémentaires peuvent être présentes parmi les échantillons)

## CLASSER DES FORAMINIFÈRES

### Protocole :

Observer les images de tests de foraminifères de l'annexe 4. Elles représentent sept espèces distinctes, sous des angles différents. Demander aux enfants de faire une liste des différences morphologiques qu'ils repèrent (on peut se servir du nombre et de la disposition des loges, et du nombre d'ouvertures). Faire un tableau de correspondance entre le nom d'une espèce et les critères morphologiques, puis essayer de créer une clé de détermination à partir de ce tableau. Une clé de détermination est proposée en annexe 5.

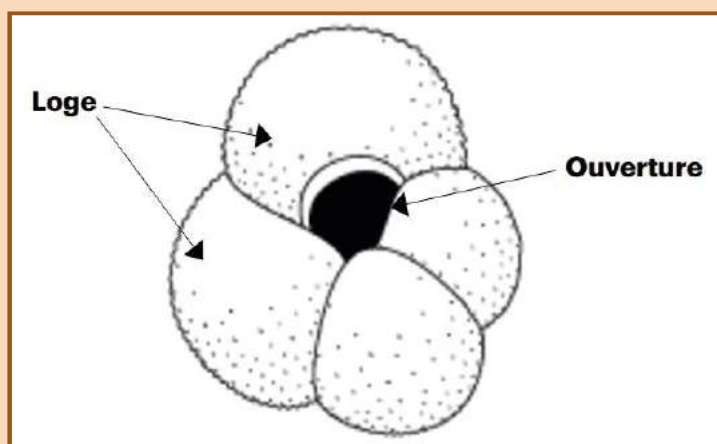


Schéma d'un test de foraminifère

### Protocole :

Tester la clé de détermination créée :

Si l'on dispose d'un microscope : observer un échantillon de tests de foraminifères. Peut-on repérer différentes espèces dans l'échantillon en se basant sur la clé de détermination ?

Si l'on ne dispose pas d'un microscope, on peut essayer de retrouver le nom d'une espèce à partir des photos de l'annexe 6.

### Explications :

Il existe des milliers d'espèces animales, dont seule une petite partie a été répertoriée. Ainsi, face à cette grande diversité, il a toujours semblé utile de classer ces espèces afin de mieux les connaître. Pour cela on peut définir les caractéristiques communes entre les membres d'une même espèce, et les différences avec les autres espèces.

#### . Classification d'espèces animales :

Les espèces animales (et plus généralement les organismes vivants) peuvent être classés en fonction de certains critères morphologiques : le nombre de pattes, la présence d'un squelette interne ou externe (comme une carapace par exemple), la présence de poils ou de plumes, etc...

On peut y ajouter d'autres critères tels que le mode de reproduction (la femelle pond-elle des œufs ? allaite-t-elle ses petits ?), de déplacement (il marche, rampe, vole), de respiration (par des poumons ? des branchies ?).



On peut ainsi regrouper les animaux présentés sur les images en fonction de caractéristiques communes :

- Les mammifères (chat, enfant) : 4 pattes, présence de poils, d'un squelette interne, respirent par les poumons, allaitent leurs petits.
- Les reptiles (lézard et crocodile) : 4 pattes, présence d'écailles, d'un squelette interne, respirent par les poumons, pondent des œufs.
- Les oiseaux (goéland, pie) : 2 pattes, 2 ailes, présence de plumes, d'un squelette interne, respirent par les poumons, pondent des œufs.
- Les insectes (fourmi, sauterelle) : 6 pattes, squelette externe (carapace), 2 antennes, pondent des œufs.
- Les mollusques (coquillages comme les moules et coquilles Saint-Jacques) : pas de pattes, une coquille, un corps mou, respirent par les branchies, pondent des œufs.
- Les crustacés (crabe, langouste) : 10 pattes, un squelette externe (carapace), 2 antennes, respirent par les branchies, pondent des œufs.

#### • Utiliser un outil d'identification d'espèces d'escargots :

Il existe des centaines d'espèces d'escargots terrestres en France, et il est parfois difficile de les différencier. Cependant si l'on se limite à un petit nombre d'espèces on peut assez facilement voir qu'elles diffèrent en observant leur coquille. L'outil d'identification proposé ici n'est donc valable que pour les espèces sélectionnées, et permet de distinguer 11 espèces communes d'escargot. Pour différencier les coquilles d'escargot, on peut se baser sur l'aspect général de la coquille, la présence ou non d'un ombilic, la présence de sculptures sur la coquille (stries, spirales, etc.). La taille est un critère à utiliser avec précaution, car l'escargot naît avec sa coquille qui grandit donc avec lui. Néanmoins à taille adulte on peut distinguer de grandes coquilles (plusieurs centimètres de diamètre) et de petites coquilles (quelques millimètres de diamètre). Enfin on ne se fierait pas toujours à la couleur de la coquille, certaines espèces présentant de grandes variations entre individus, et les anciennes coquilles étant souvent blanchâtres.

#### • Créer une clé de détermination de foraminifères :

Comme pour les escargots, les foraminifères peuvent être identifiés par rapport aux caractéristiques de leur test. Ainsi les spécialistes observent le nombre et la forme des loges, leur disposition, la présence ou non d'ouvertures et de perforations, la texture du test. Il est ainsi nécessaire d'observer le test sous différents angles afin d'en avoir une description complète.

### POUR EN SAVOIR PLUS...

Sur la classification des escargots :  
<https://www.vigienature-ecole.fr/escargots>

Sur la description des tests de foraminifères :  
<http://www.mikrotax.org/system/search.php>  
<http://foraminifera.eu/>



Act  
1

ANNEXE 1  
IMAGES DES ANIMAUX À CLASSER



Chat



Coquille Saint-Jacques



Crabe



Enfant



Fourmi



Goéland



Moule



Langouste



Crocodile



Pie



Sauterelle



Lézard

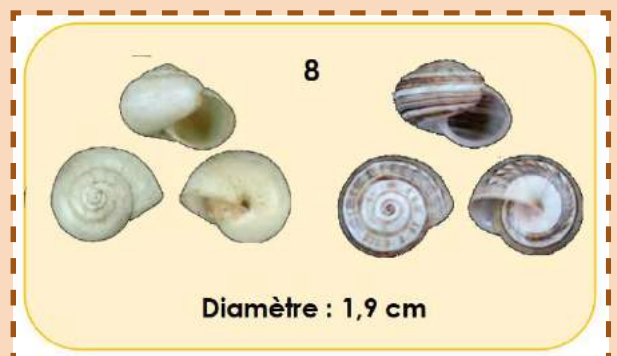
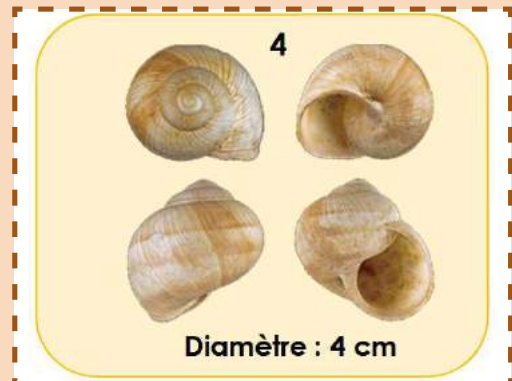
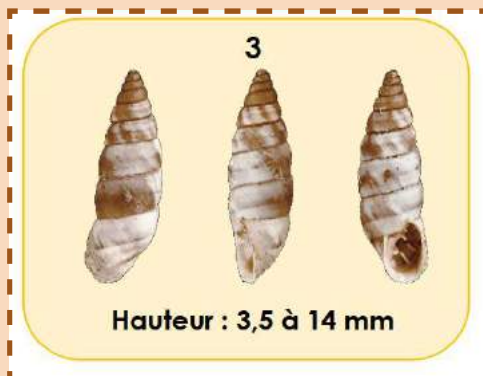




**Act 1**

**ANNEXE 2 - 1**

IMAGES DE COQUILLES D'ESCARGOT (LA TAILLE INDIQUÉE CORRESPOND AUX ESCARGOTS ADULTES)

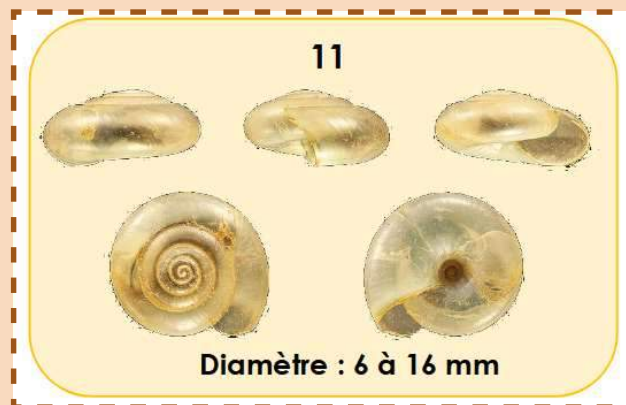




Act  
1

## ANNEXE 2 - 2

IMAGES DE COQUILLES D'ESCARGOT (LA TAILLE INDIQUÉE CORRESPOND AUX ESCARGOTS ADULTES)



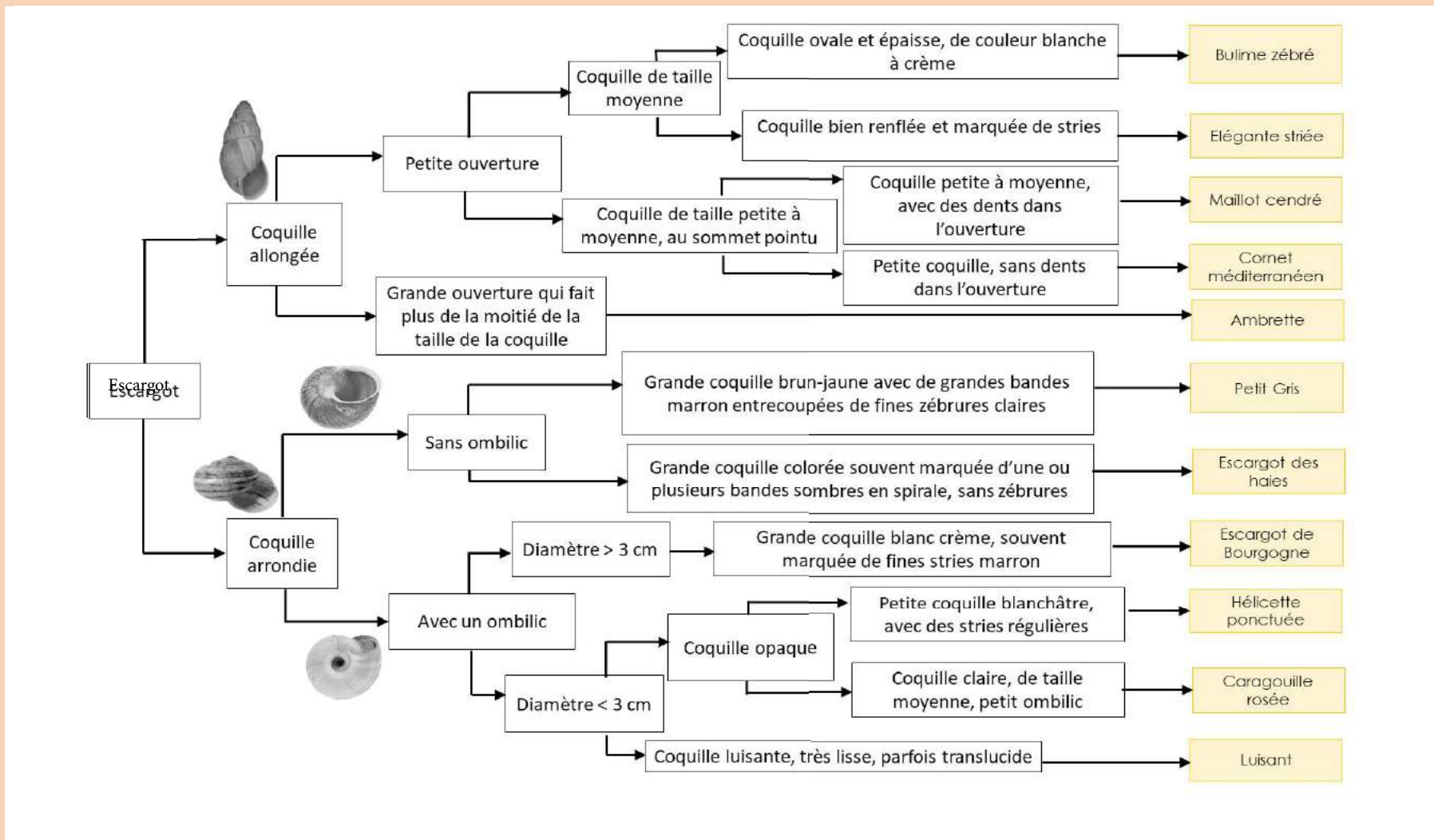
Nom des espèces d'escargot :

1. Ambrette
2. Bulime zébré
3. Maillot cendré
4. Escargot de Bourgogne
5. Petit gris
6. Escargot des haies
7. Hélicette ponctuée
8. Caragouille rosée
9. Cornet méditerranéen
10. Élégante striée
11. Luisant

### ANNEXE 3

#### CLE DE DETERMINATION DE 11 ESPECES D'ESCARGOTS

Act  
1

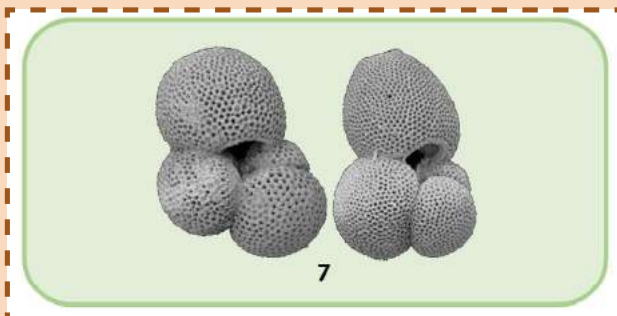
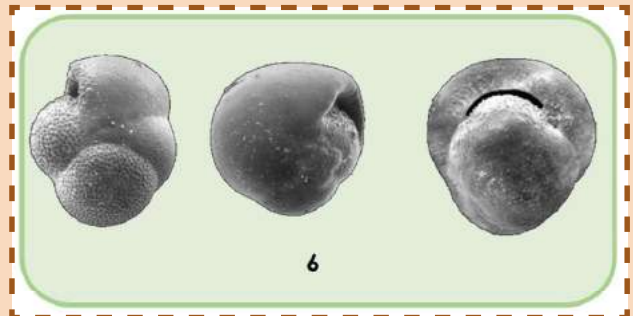
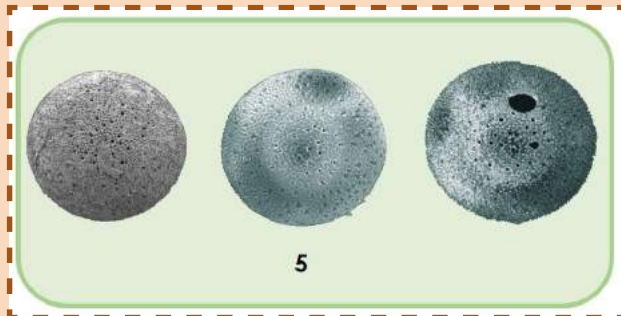
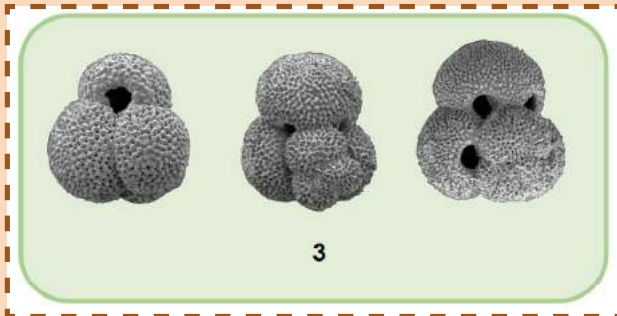
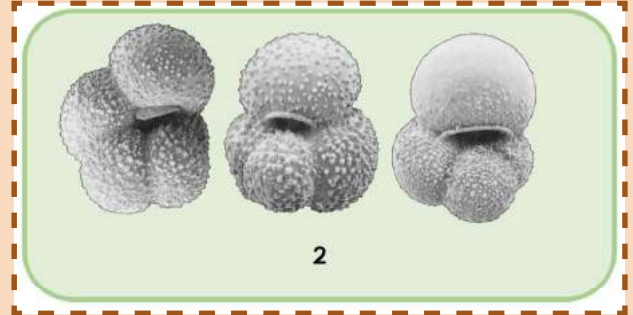
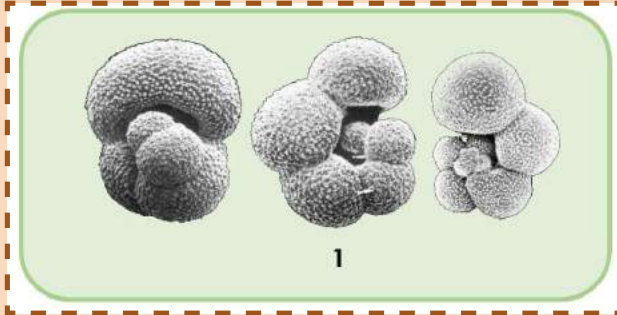




**Act 1**

**ANNEXE 4**

IMAGES DE TESTS DE FORAMINIFÈRES  
POUR CRÉER UNE CLÉ DE DÉTERMINATION



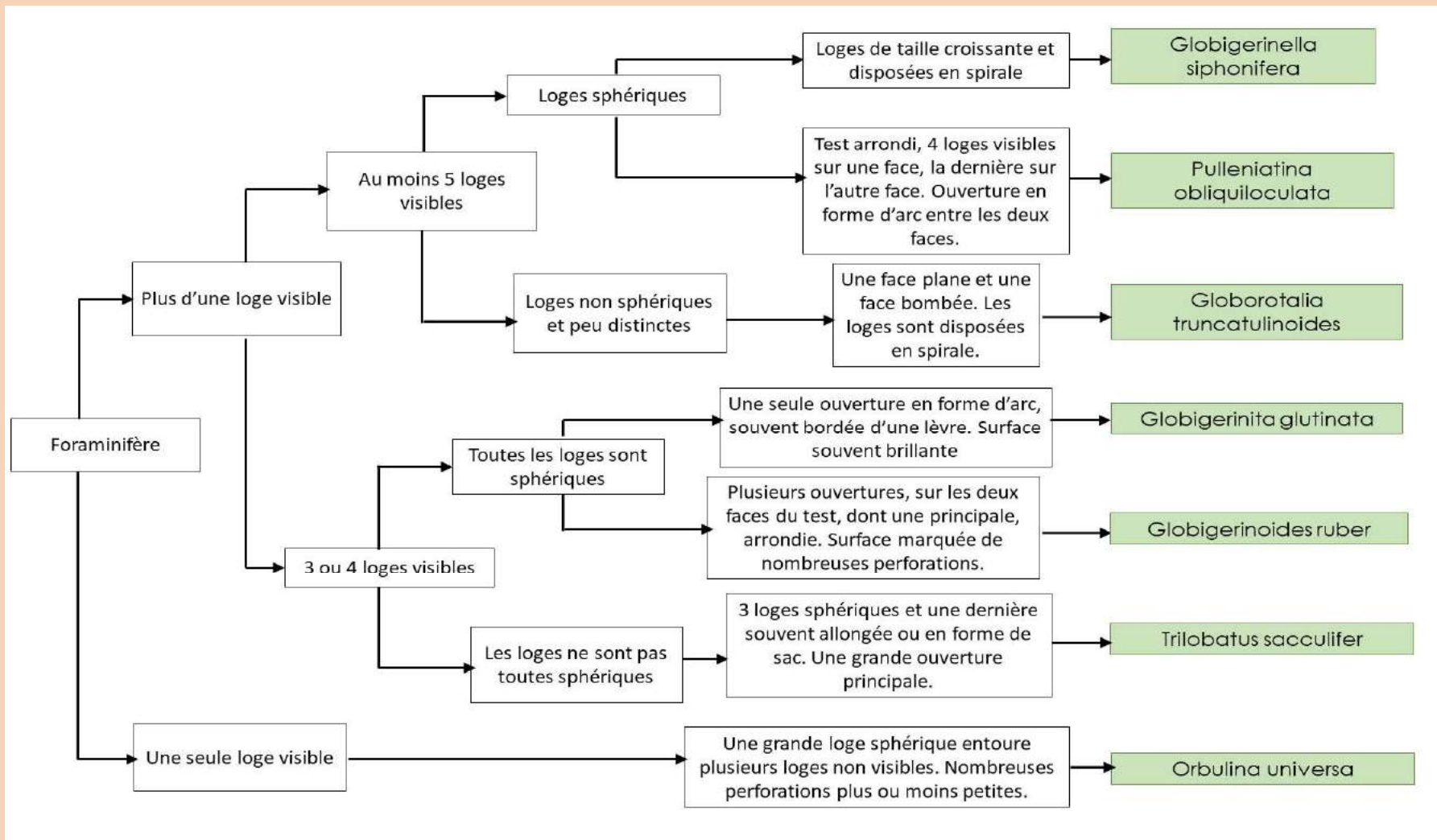
**Nom des espèces de foraminifère :**

1. *Globigerinella siphonifera*
2. *Globigerinita glutinata*
3. *Globigerinoides ruber*
4. *Globorotalia truncatulinoides*
5. *Orbulina universa*
6. *Pulleniatina obliquiloculata*
7. *Trilobatus sacculifer*

## ANNEXE 5

Act  
1

### PROPOSITION DE CLE DE DETERMINATION DE 7 ESPECES DE FORAMINIFERES

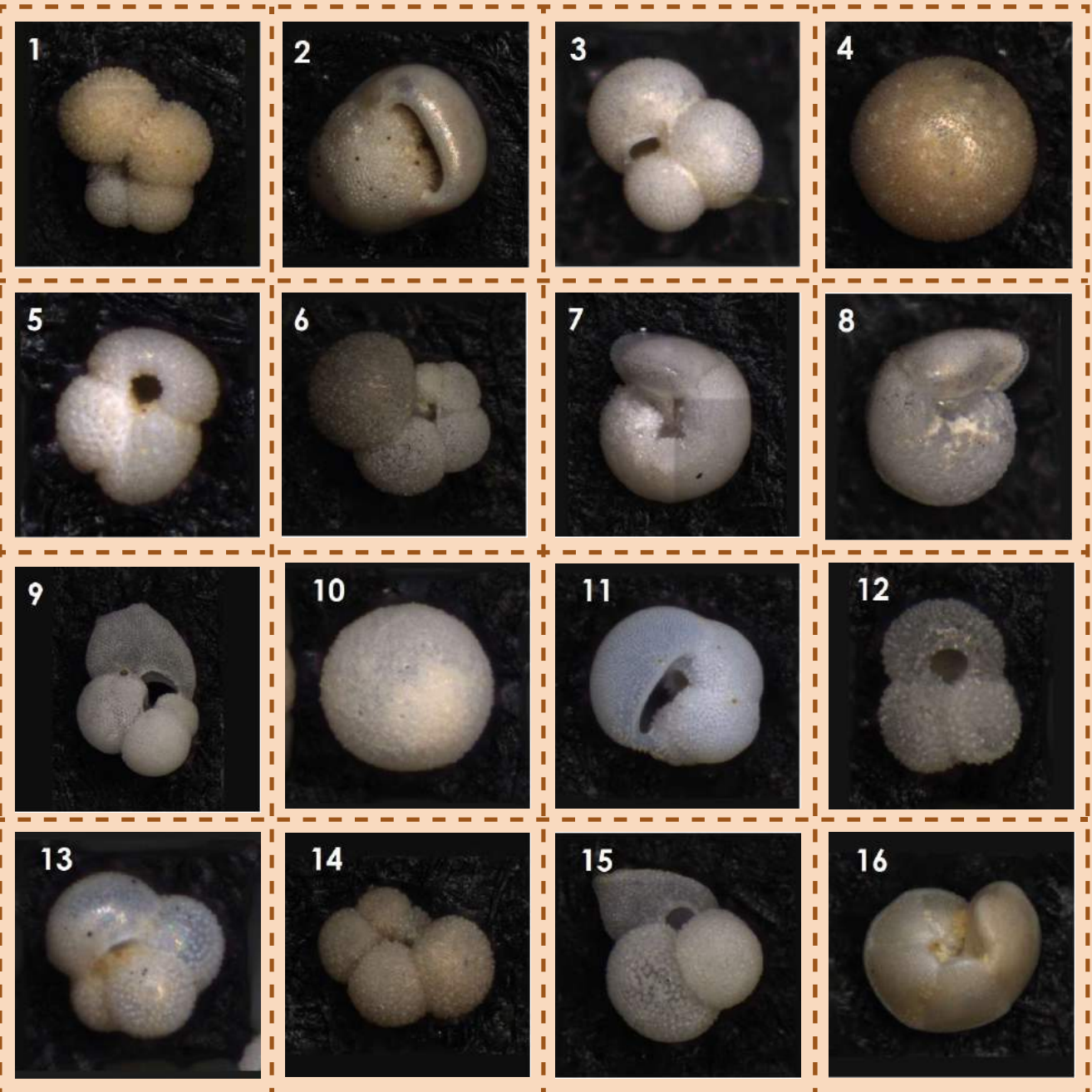




Act  
1

**ANNEXE 6**

PHOTOS DE TESTS DE FORAMINIFÈRES À IDENTIFIER



Nom des espèces de foraminifère :

1, 6 et 14 : *Globigerinella siphonifera*  
 2 et 11 : *Pulleniatina obliquiloculata*  
 3 et 13 : *Globigerinita glutinata*  
 4 et 10 : *Orbulina universa*

5 et 12 : *Globigerinoides ruber*  
 7, 8 et 16 : *Globorotalia truncatulinoides*  
 9 et 15 : *Trilobatus sacculifer*



## Act 2

# AUTOMATISER LE TRI DES TESTS DE FORAMINIFERES

### Partons d'un questionnaire :

Les tests de foraminifères sont de très petite taille, équivalente à un grain de sable. Il est pourtant nécessaire de les trier afin de pouvoir les identifier et les analyser. Ce travail est fastidieux et se fait encore manuellement, mais des chercheurs ont réussi à mettre au point une machine de tri automatique. Cette activité permettra de découvrir son mode de fonctionnement. Vous pourrez ensuite imaginer et construire votre propre système de tri.

### Matériel :

- Photos de la méthode de tri manuel (annexe 1)
- Schéma d'une machine de tri automatique (annexe 2)
- Boîte de billes
- Appareil photo ou smartphone
- Matériel de bricolage : carton, scotch, ciseaux ... (hors malle)

## TRI MANUEL ET TRI AUTOMATIQUE

### Protocole :

Montrer aux enfants les photos de l'annexe 1 montrant comment se fait le tri manuel des tests de foraminifères. Pensez-ils que cette étape d'identification est facile à faire ? Leur montrer ensuite l'annexe 2 qui présente une machine de tri automatique mise au point par des chercheurs. Expliquer ensuite aux enfants qu'ils vont essayer de fabriquer une machine de tri automatique, qui pourrait faciliter cette étape de l'identification des foraminifères.

## DEFI : CONSTRUISEZ VOTRE MACHINE DE TRI AUTOMATIQUE

### Protocole :

Le défi est le suivant :  
Vous disposez d'une boîte de billes représentant des tests de foraminifères, et vous devez imaginer et construire un système automatique de séparation, afin de pouvoir les photographier une par une.

### Voici quelques pistes :

- Fabriquer un circuit à billes (plan incliné, spirale, ...) :





- Utiliser une vis sans fin :

<https://www.firediy.fr/article/realisation-d-un-cat-feeder-contrôle-par-arduino>

<http://jeanluc.oliver.free.fr/Pages%20web/Distributeur.html>

<https://www.emmanuel.com/Distributeur-de-croquettes-pour-chat-1-3>

Une fois le système construit, on peut le tester en tentant de séparer et photographier le maximum de billes en un temps donné.

### Explications :

Comment se fait le tri des tests de foraminifères en laboratoire de recherche ? Les échantillons sont observés sous microscope et les tests sont triés manuellement à l'aide d'un pinceau, avant d'être prélevés pour être analysés. Ce travail prend énormément de temps aux chercheurs.

Pour cette raison ils tentent de mettre au point des systèmes de séparation automatique de ces tests, afin de gagner du temps. L'un de ces systèmes est présenté ici de façon schématique : les tests de foraminifères sont déversés dans un entonnoir, puis sur les parois un cône rotatif, avant de tomber dans une gouttière entourant ce cône. Une caméra installée au niveau de la gouttière permet de les prendre en photos.

Un autre système est déjà utilisé en laboratoire. Il est constitué d'un cône rotatif permettant de faire monter les tests en utilisant un système de vis sans fin. Les tests arrivent ensuite sur un tapis vibrant qui les fait avancer jusqu'à l'endroit où ils seront pris séparément en photo.

Pour développer cet appareil de tri automatique, les chercheurs ont dû tester différents systèmes avant d'aboutir à un résultat satisfaisant : utiliser un circuit d'eau, un tamis, ou encore un aimant. La difficulté étant de séparer suffisamment les tests pour pouvoir les prendre un par un en photo, sans qu'ils ne s'abîment ni que certains ne se retrouvent coincés sur le parcours.





Act  
1

**ANNEXE 1**

PHOTOS DE LA METHODE DE TRI MANUEL DE TESTS DE FORAMINIFÈRES EN LABORATOIRE



Etape 1 : les tests de foraminifères sont déposés sur un plateau de tri



Etape 2 : les tests sont triés sous microscope, à l'aide d'un pinceau

Act  
1**ANNEXE 2****EXEMPLE DE MACHINE DE TRI AUTOMATIQUE CONÇUE POUR SEPARER LES TESTS DE FORAMINIFÈRES**

Le schéma ci-dessous représente une machine de tri automatique de tests de foraminifères, conçue par des chercheurs et brevetée en 1981 :

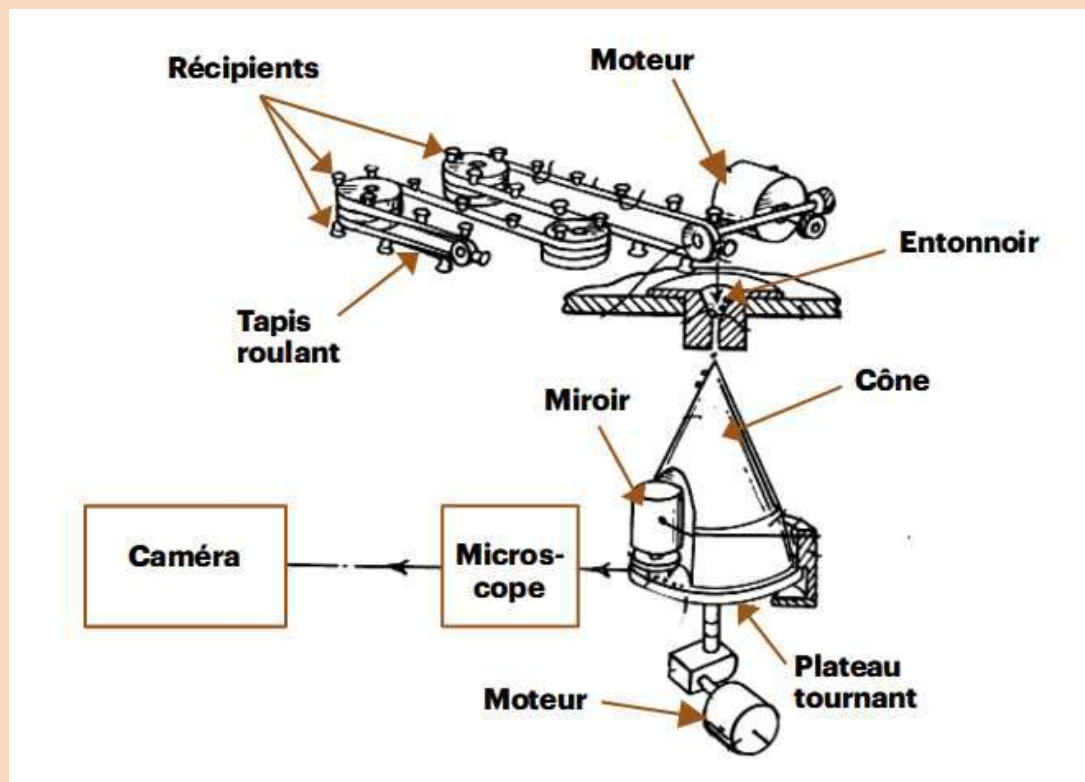


Schéma d'un exemple de machine de tri automatique

**Fonctionnement de la machine de tri :**

De petits récipients remplis de tests de foraminifères sont transportés, sur un tapis roulant, jusqu'à un entonnoir dans lequel leur contenu est déversé.

Les tests tombent ensuite petit à petit au sommet d'un cône, jusqu'à un plateau tournant situé à la base de ce cône.

Le plateau les transporte jusqu'à un miroir, qui permet de refléter leur image sous différents angles. Enfin, les images sont agrandies à l'aide d'un microscope, puis enregistrées grâce à une caméra.

**Référence :**

Johnson, R.F., 1981. Automatic particle analysing system. U.S. patent 4,295,200A. 13 octobre 1981. <https://patents.google.com/patent/US4295200A/en>



**Act  
3**

**COMMENT UN ORDINATEUR VOIT-IL UN FORAMINIFÈRE ?**

**Partons d'un questionnaire :**

Il est possible de reconnaître des images de foraminifères à l'aide d'un ordinateur. Mais est-ce qu'un ordinateur voit comme nous ? Comment fait-il pour reconnaître des images ? Cette activité permettra de le découvrir.

**Matériel :**

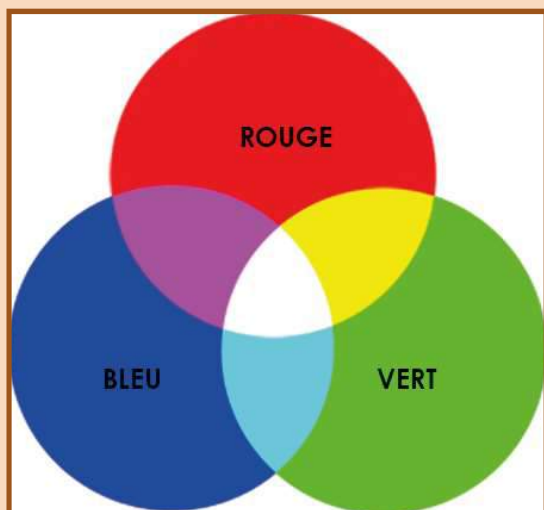
- Images du jeu "C'est quoi la mer ?" (annexe 1)
- Grille de coloriage (annexe 2)
- Marqueurs et crayons à papier (hors malle)
- Photos de 3 tests de foraminifères (annexe 3)
- Images pixélisées d'un test de foraminifère (annexe 4)
- Grille et photo d'un test de foraminifère (annexe 5)
- Feuille transparente

**JEU "C'EST QUOI LA MER ?"**

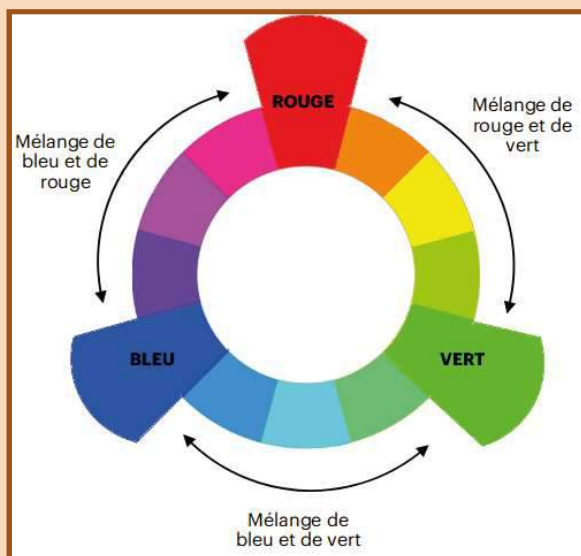
**Protocole :**

• Montrer aux enfants les cartes du jeu "C'est quoi la mer" (annexe 1) et leur demander de repérer les images représentant la mer. En accrochant les cartes sur un fil ils devront ensuite classer les cartes selon la facilité à reconnaître qu'il s'agit bien de la mer. On pourra dans un premier temps choisir comme critère la quantité de couleur bleue dans l'image.

• Expliquer ensuite aux enfants que notre œil n'est en réalité sensible qu'à trois couleurs : le rouge, le vert et le bleu (qu'on appelle couleurs primaires). Les variations de couleurs que nous voyons résultent donc d'un mélange de ces couleurs, comme sur les schémas suivants :



Les 3 couleurs primaires et leur mélange



Les nuances dans les mélanges de couleur

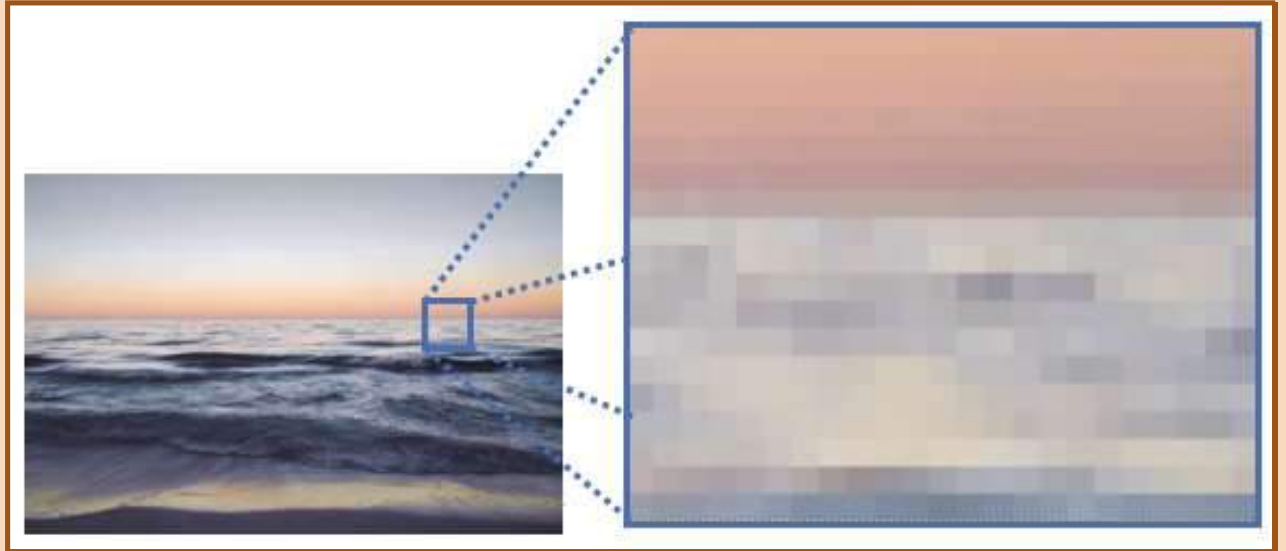
D'après les schémas quelles sont les couleurs qui ne contiennent pas du tout de bleu ? Ces couleurs sont-elles présentes dans les images du jeu ? Le critère choisit pour définir la mer est-il suffisant dans ce cas ? Essayer d'en proposer d'autres.



## REPRÉSENTER UNE IMAGE PAR DES PIXELS

### Protocole :

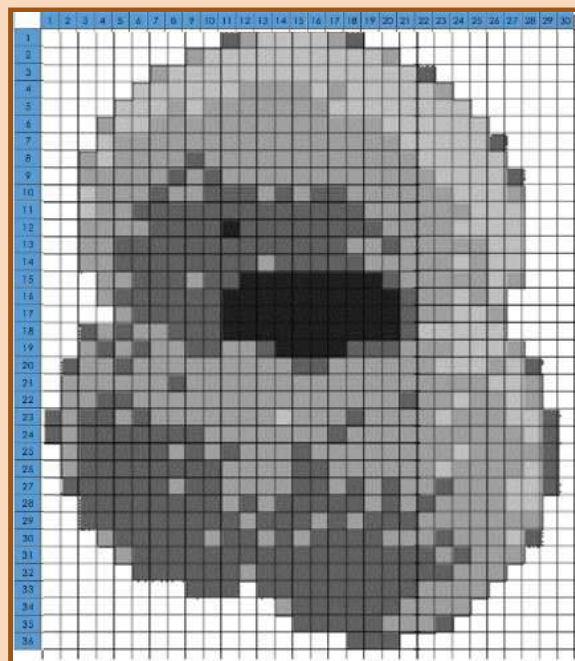
• Que voit-on si on agrandit une image sur un ordinateur ? Montrer aux enfants l'image suivante représentant un zoom sur une partie de la photo d'un coucher de soleil sur la mer. Que remarquent-ils ?



• Expliquer ensuite aux enfants qu'une image en noir et blanc peut aussi être représentée par des pixels, en faisant varier la quantité de noir et de blanc pour obtenir des nuances de gris. Demander aux enfants de colorier la grille de l'annexe 2 avec différentes teintes de gris et du noir, représentées par des chiffres.

Les différentes teintes de gris peuvent s'obtenir en appuyant plus ou moins fort avec un crayon à papier.

Voici ce qu'ils devraient obtenir :





• Montrer ensuite aux enfants les photos de l'annexe 3, de 3 tests de foraminifères.  
D'après ces photos quel foraminifère ont-ils représenté ?

• Demander ensuite aux enfants de regarder les images de l'annexe 4 représentant toutes la photo de Globigerinoides ruber. Laquelle ressemble le plus à la photo d'origine ? Quelle est la différence entre ces images ?

### COMMENT REPRÉSENTER SIMPLEMENT LA PHOTO D'UN TEST DE FORAMINIFÈRE PAR SES CONTOURS ?

#### Protocole :

• Observer la photo de Globigerinoides ruber, présentée dans la même grille que la précédente (annexe 5). Peut-on découper la photo en différentes zones pour en délimiter les contours ? Poser ensuite une feuille transparente sur la photo, et dessiner au feutre les contours choisis.

On peut maintenant poser les contours obtenus sur la première grille coloriée, afin d'obtenir une représentation de la photo à la fois par ses contours et par des nuances de gris.

#### Explications :

Nous sommes capables de reconnaître une image à une vitesse étonnante : pour cela nous nous servons de ce que nous connaissons déjà, de notre mémoire, des similitudes avec quelque chose de connu. C'est pour cela que nous sommes capables de reconnaître rapidement un paysage représentant la mer, même si la mer n'est pas bleue sur cette image, et même s'il y a autre chose que la mer sur une image.

Mais pour un ordinateur il est plus compliqué de reconnaître immédiatement la même chose que nous. En effet un ordinateur ne "voit" pas les choses comme nous. Il distingue dans un premier temps des contours, des couleurs et leurs variations, des formes, sans savoir ce que c'est.

Ainsi une image peut être découpée en un certain nombre de petits carrés, que l'on appelle pixels. Chaque pixel est défini notamment par une couleur. En reproduisant le principe de la vision humaine, on peut définir cette couleur comme un mélange de bleu, de vert et de rouge.

Dans le cas des photos de tests de foraminifères présentées ici, les pixels seront définis par des variations de gris. C'est l'agencement de ces pixels qui définira l'image. On remarque aussi que plus le nombre de pixels est grand, plus l'image sera détaillée et facile à reconnaître. Mais cela signifie aussi qu'il y aura plus d'informations à traiter pour l'ordinateur. Ainsi plus le nombre de pixels sera grand, plus l'image sera lourde et plus l'ordinateur mettra de temps à traiter cette image. En pratique, pour la reconnaissance d'images de foraminifères par ordinateur, les chercheurs utilisent selon les cas des images en couleur ou en variation de gris.

Enfin une image peut être définie par ses contours. L'ordinateur peut ainsi repérer des formes sur une image. L'association des données sur les contours et les variations de couleur lui permettra de catégoriser l'image.



Act  
3

**ANNEXE 1 - 1**  
IMAGES DU JEU "C'EST QUOI LA MER ?"





Act  
3

**ANNEXE 1 - 2**  
IMAGES DU JEU "C'EST QUOI LA MER ?"





Fiche 3 COMMENT UN ORDINATEUR VOIT-IL UN FORAMINIFÈRE ?

**Act 3**

**ANNEXE 2**  
GRILLE DE COLORIAGE

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1										3	2	1	1	1	1	2	3													
2									2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2										
3							2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3								
4				1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2								
5				1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
6				2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1					
7				1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	3			
8			2	1	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1				
9			2	2	2	2	2	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	3		
10			1	2	2	2	3	2	2	3	3	3	2	3	2	3	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2			
11			1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1			
12			2	2	2	2	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1			
13			2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	2	2	2	2	2	2	1	1			
14			2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	1	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	2	1	1			
15				2	2	3	3	3	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	2	2	2	2	2	1	2			
16				2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	2	2	2	1	2	1				
17				2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	2	2	1	1	2					
18			3	2	3	2	2	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	1	1	1	1	1					
19			2	3	2	3	2	2	3	3	2	2	3	4	4	4	4	3	3	3	2	2	2	1	1	1	2			
20		3	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	3		
21		2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2			
22		2	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	1	2	2	1	2		
23	3	2	3	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	3	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	3	
24	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	3	
25		2	3	3	3	3	2	3	2	3	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	3	
26		2	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	3	
27		3	3	3	3	3	3	2	3	3	2	2	2	2	3	3	2	3	2	3	2	2	3	2	2	2	1	1	3	
28			3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	3	3	3	3	3	2	3	2	3	2	2	2	2	1	1		
29			3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	2	3	2	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2		
30				2	3	3	3	3	2	3	3	2	3	2	3	3	3	3	3	2	2	2	3	2	2	2	1	3		
31				2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	2	2			
32							3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2				
33									3	3	3		3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2					
34														2	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2						
35															3	3	3	3	3	2	2	2	3							
36																			3	3	3									

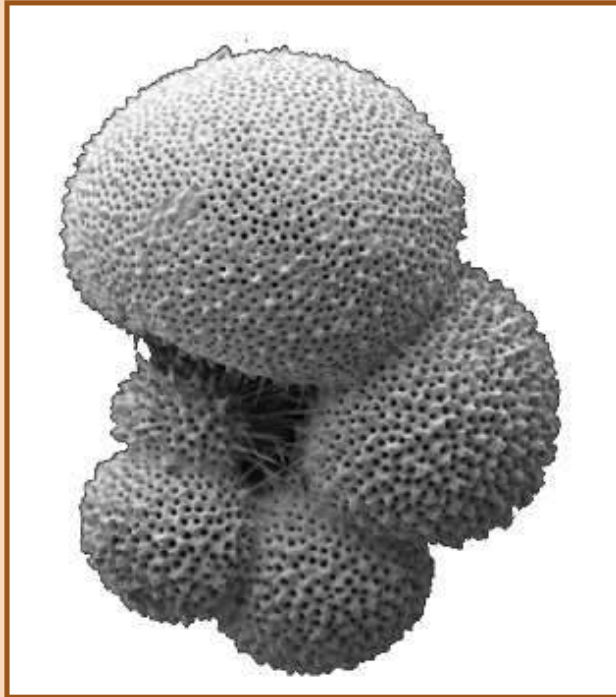
1 : gris clair     2 : gris moyen     3 : gris foncé     4 : noir



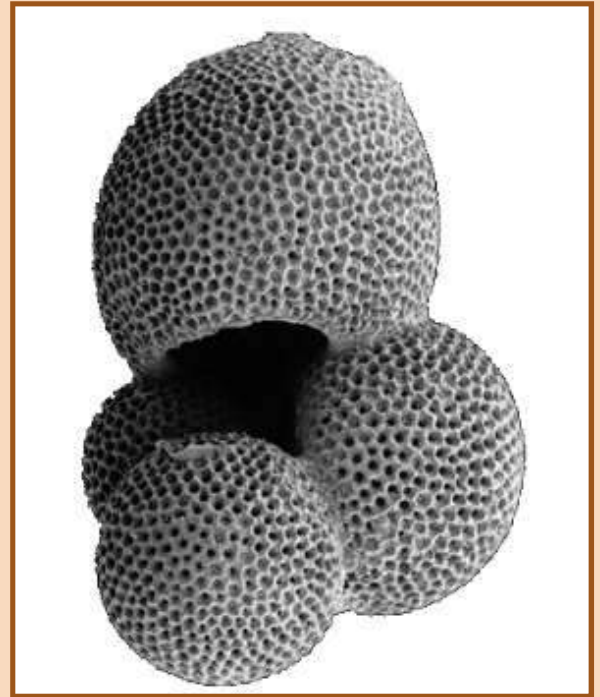


Act  
3

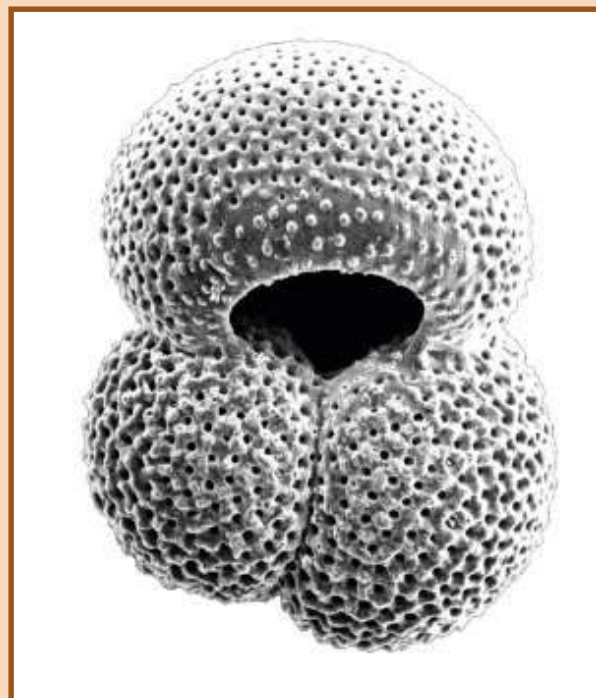
ANNEXE 3  
PHOTOS DE TESTS DE FORAMINIFÈRES



*Globigerinella siphonifera*



*Trilobatus sacculifer*



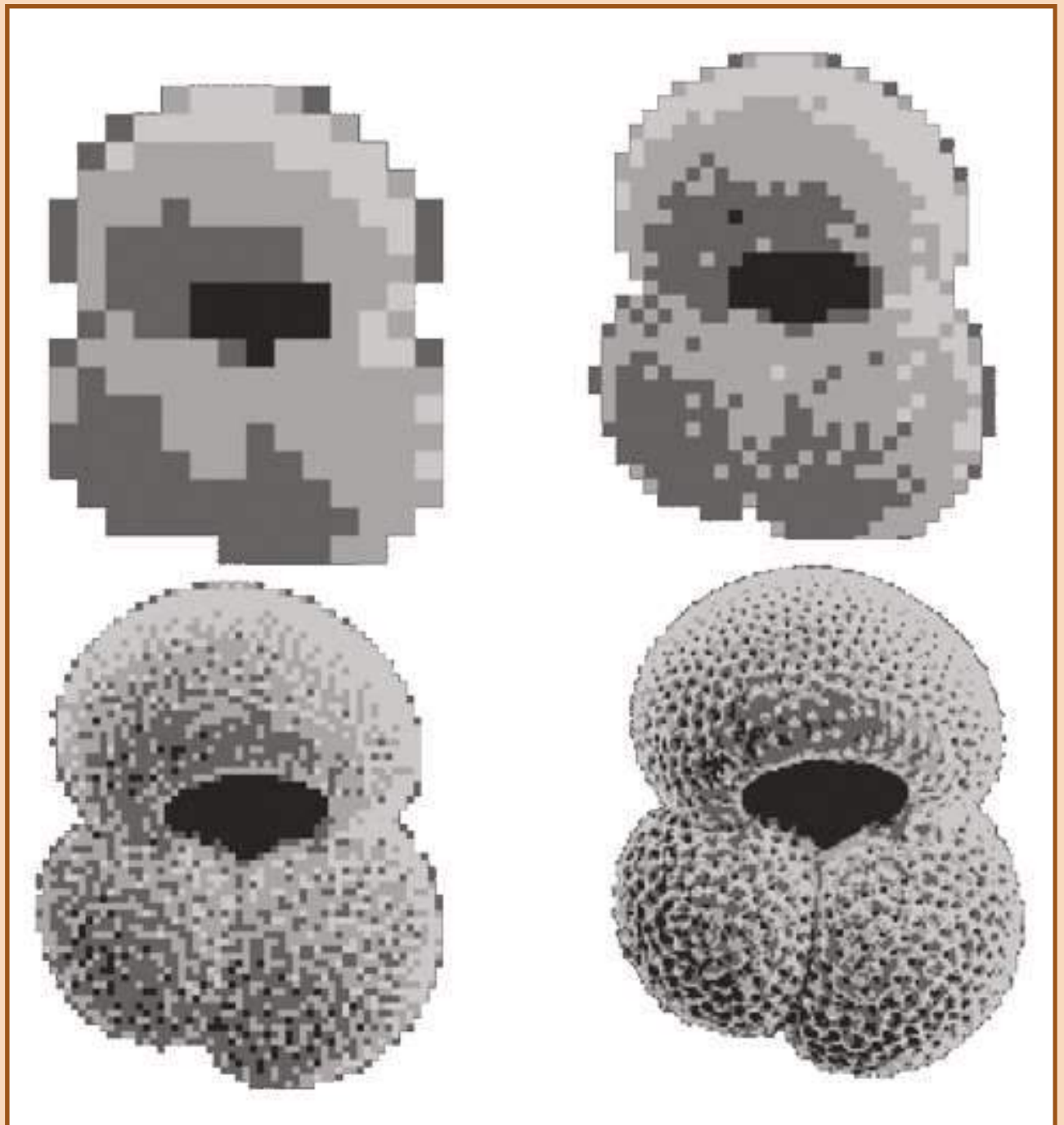
*Globigerinoides ruber*



**Act**  
**3**

**ANNEXE 4**

IMAGES PIXÉLISÉES D'UN TEST DE GLOBIGERINOIDES RUBER

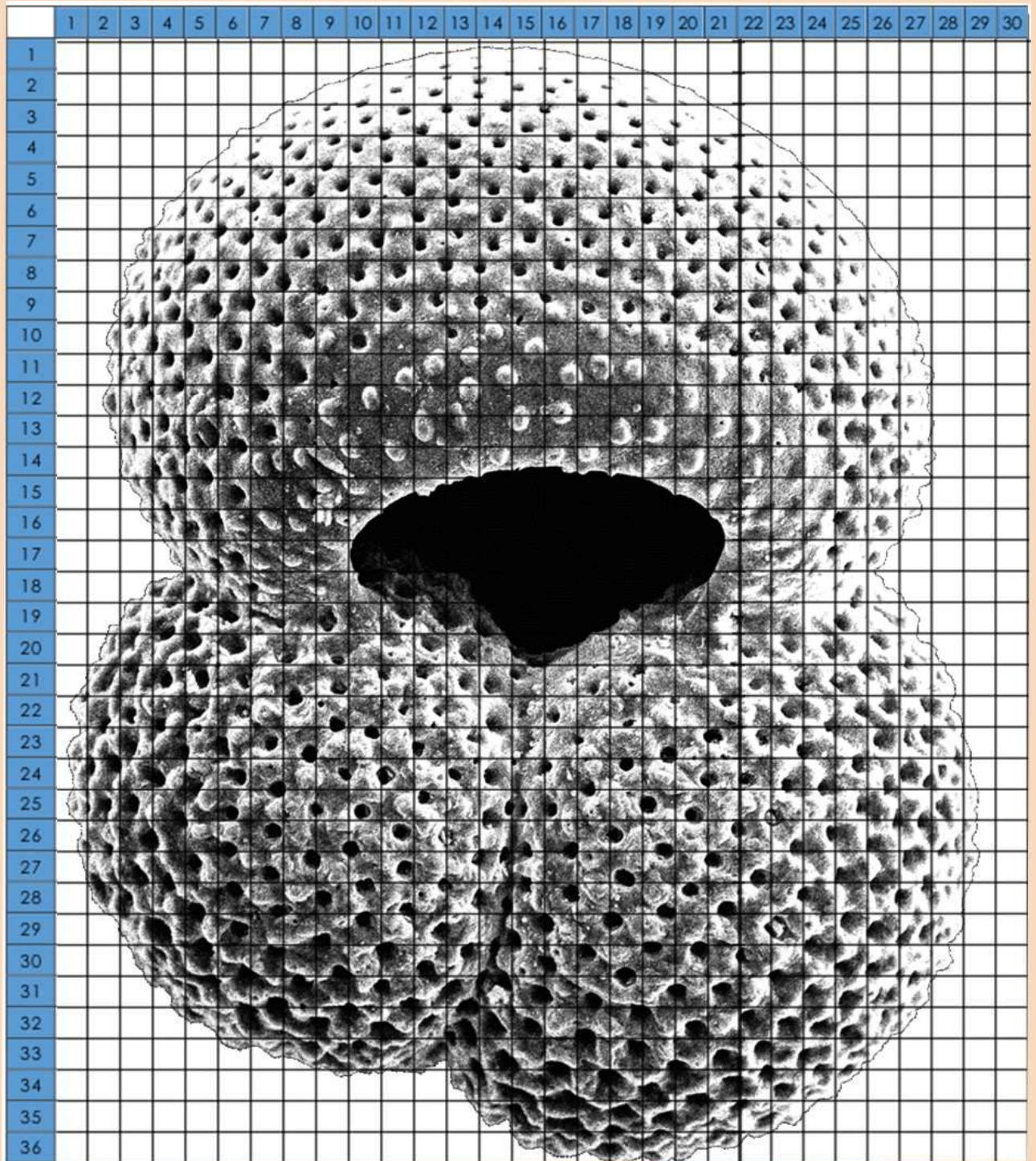




**Act**  
**3**

**ANNEXE 5**

PHOTO DE GLOBIGERINOIDES RUBER  
POUR LE DESSIN DES CONTOURS





## Act 4

# DES NEURONES ARTIFICIELS POUR IDENTIFIER LES FORAMINIFÈRES

### Partons d'un questionnaire :

Il est possible pour un ordinateur d'apprendre à reconnaître des images. Pour cela on peut utiliser des neurones artificiels. Savez-vous ce qu'est un réseau de neurones artificiels et comment il fonctionne ? Cette activité va permettre de le découvrir.

### Matériel :

- Image d'un réseau de neurones et schéma d'un neurone (annexe 1)
- Schéma de critères retenus pour l'achat d'une maison (annexe 2)
- Facultatif : ordinateur et connexion Internet
- Exemples de résultats obtenus en utilisant le programme Quick, Draw de Google (annexe 3)

## DU NEURONE BIOLOGIQUE AU NEURONE ARTIFICIEL

### Protocole :

- Demander aux enfants s'ils savent à quoi sert le cerveau. Recueillir leurs idées. Leur demander ensuite de détailler toutes les étapes de ce qui se passe quand on a par exemple froid et qu'on décide de boire un bol de chocolat chaud. Quand est-ce que le cerveau intervient ?

- Demander aux enfants s'ils savent de quoi est fait le cerveau et comment sont transmises les informations allant du cerveau au corps. Montrer aux enfants les images d'un neurone et d'un réseau de neurones, en expliquant que c'est ce qu'on peut voir quand on regarde un cerveau au microscope (annexe 1).

- Comment est transmise et traitée l'information dans le neurone ?

Reprendre avec les enfants la situation précédente, où le cerveau transmet la décision de prendre un bol de chocolat chaud, et leur expliquer qu'ils vont mimer la transmission de l'information via les neurones :

Un enfant représente le centre de décision du neurone et va recevoir des informations d'autres neurones. Ces informations seront représentées par des nombres. Le centre de décision reçoit donc des nombres et doit faire leur somme. Son rôle se limite à :

- Décider de transmettre l'information à d'autres neurones auxquels il est connecté
- Décider de ne pas transmettre cette information

Pour cela on décide par exemple que :

- Si la somme des informations reçues est supérieure à 20, l'information est transmise
- Si elle est inférieure ou égale à 20, elle n'est pas transmise.

### Situation 1 :

Deux ou trois enfants piochent des nombres dont la somme est supérieure à 20, et transmettent ces nombres au centre de décision. L'enfant qui représente le centre de décision passera l'information (qui peut être représentée par une balle ou un bâton) à un autre enfant qui représentera un autre neurone.

### Situation 2:

La somme des nombres est inférieure ou égale à 20. Qu'est-ce qui va changer ? Pourquoi l'information n'est-elle pas transmise (imaginer par exemple que le bol de chocolat soit finalement trop chaud) ?



**UN RÉSEAU DE NEURONES SIMPLE : LE PERCEPTRON**

**Protocole :**

• Expliquer aux enfants qu'on a inventé des programmes informatiques qui miment le fonctionnement d'un neurone du cerveau : on les appelle des neurones artificiels.

A quoi peuvent-ils servir ? Comme pour les neurones du cerveau, ils peuvent nous aider par exemple à prendre des décisions.

Présenter une problématique aux enfants : leurs parents veulent acheter une maison.

**Leur recherche repose sur trois critères :**

- 1- La distance entre la maison et leur école : la maison doit être située à moins de 2 kilomètres de l'école.
- 2- Le nombre de chambres : il faut une chambre parentale et une chambre pour chacun des enfants (il faudra par exemple 3 chambres).
- 3- La superficie de la maison : elle doit faire au moins 80 m<sup>2</sup>.

On peut utiliser ici des neurones artificiels pour décider, lorsqu'on cherche des annonces, si on va visiter ou non la maison.

Comme pour les neurones du cerveau, la valeur de chaque critère peut représenter une information qui sera transmise au neurone artificiel. Si cette valeur correspond aux critères définis par les parents, on obtient un 1 (par exemple si on a bien une distance de moins de 2 kilomètres entre la maison et l'école). Sinon, on obtient un 0.

Le neurone artificiel fera ensuite la somme des valeurs et décidera ou non de transmettre l'information "Vous pouvez visiter la maison", selon le résultat obtenu.

Demander aux enfants à quelles conditions chaque critère aura une valeur de 1 ou une valeur de 0. Ces valeurs sont schématisées en annexe 2.

Le neurone artificiel peut être représenté ainsi :

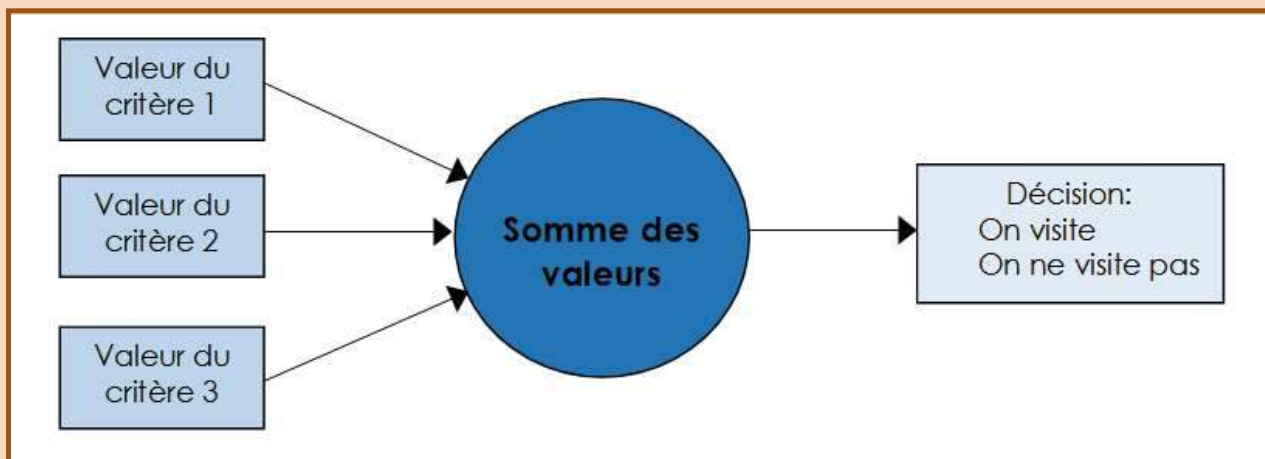


Schéma d'un neurone artificiel

Ensuite on peut aussi décider qu'un des critères est plus important qu'un autre. Par exemple, s'il faut absolument que les frères et sœurs aient chacun leur chambre, et que l'école soit proche de la maison, on peut décider que ces critères seront deux fois plus importants que la superficie. Dans ce cas la valeur de ces critères sera multipliée par 2. On peut aussi décider que si les deux critères les plus importants sont remplis, alors on ira quand même visiter la maison, même si sa superficie est inférieure à 80 m<sup>2</sup>.

Dans ces conditions demander aux enfants quelle devrait être la somme minimale des valeurs pour que l'on décide de visiter une maison.



• On a repéré 3 annonces. Si on traite les informations avec le neurone artificiel, quelle sera la somme obtenue ? Quelle(s) maison(s) le neurone artificiel nous dira de visiter ?

**Annonce 1 :**

Jolie maison de ville de 100 m<sup>2</sup> sur 2 étages, avec un petit extérieur. Elle possède 3 chambres de grande taille, une salle de bain avec douche, WC séparés, salon avec coin cuisine aménagé. Toutes commodités à moins de 1 kilomètre (commerces, transports en commun, écoles). A saisir !

**Annonce 2 :**

Maison avec petite vue mer, idéale pour un couple avec enfant. Deux chambres au calme, salon donnant sur l'école des Oiseaux Bleus, salle de bain rénovée, pour une superficie de 90 m<sup>2</sup>. Quelques travaux à prévoir.

**Annonce 3 :**

Située en proche banlieue, cette maison vous séduira par son charme. Bien exposée, elle possède une jolie terrasse, 4 chambres (dont 2 petites), une cuisine ouverte, salle de bain avec douche italienne. Ecoles et commerces à moins de 2 km.

**LES NEURONES ARTIFICIELS PEUVENT APPRENDRE**

**Protocole :**

• Demander aux enfants ce que veut dire apprendre, et ce qu'il faut faire pour apprendre et retenir quelque chose.

Leur présenter ensuite le jeu de reconnaissance de dessin "Quick, Draw" de Google, accessible à l'adresse suivante :

<https://quickdraw.withgoogle.com/#>

Dans ce jeu, on nous demande de dessiner un objet, ou un animal, en moins de 20 secondes. En parallèle un programme informatique essaie de deviner ce que l'on dessine.

Les enfants peuvent soit jouer au jeu sur ordinateur, soit voir des exemples de résultats (annexe 3).

Que peut-on en conclure ? Comment un réseau de neurone peut-il apprendre à reconnaître des images ? De quoi a-t-il besoin (aborder la notion de base de données) ?

- Créer une base de données de dessins :

Demander à tous les enfants de dessiner le même objet ou animal, comme une maison ou un chat par exemple. Mettre ensuite tous les dessins en commun et discuter des points communs et différences entre les représentations. Peut-on réaliser un seul dessin qui reprendra le maximum de points communs entre les dessins de tout le monde ?

**CONCLUSION : APPLICATION À LA RECONNAISSANCE DE FORAMINIFÈRES**

**Discussion :**

D'après les activités précédentes, les enfants pensent-ils qu'on peut apprendre à un ordinateur à reconnaître des images de foraminifères ? Comment faudrait-il procéder ?

**Explications :**

Le cerveau est le centre de décisions de notre corps. Il contrôle toutes nos actions, comme respirer ou bouger, et il contrôle aussi nos émotions et nos souvenirs. Il reçoit des informations de l'ensemble du corps, ce que l'on entend, ce que l'on voit, s'il fait chaud ou froid par exemple, puis il les traite pour prendre des décisions. Le cerveau transmet ses décisions en renvoyant ensuite des informations à notre corps.

Ainsi si l'on a froid et que l'on décide de boire un bol de chocolat chaud, la sensation de froid est transmise au cerveau, les yeux transmettent l'information sur la position du bol de chocolat chaud, et le cerveau traite ces informations pour ordonner aux muscles de se contracter de façon à ce qu'on puisse attraper le bol. L'information est transmise par les cellules nerveuses, que l'on appelle neurones, situées dans le cerveau et dans la moelle épinière. Ces neurones sont connectés les uns aux autres et forment un énorme réseau. Ils fonctionnent en transmettant ou non l'information (le message nerveux) selon certains critères.

C'est en observant la façon dont les neurones transmettent l'information que certains chercheurs ont décidé de créer des programmes informatiques particuliers, mimant le fonctionnement des réseaux de neurones. Ces programmes ont été appelés réseaux de neurones artificiels. Le réseau présenté ici est assez simple, mais il en existe de plus complexes impliquant de très nombreux neurones interconnectés. Ces réseaux sont utilisés entre autres dans la reconnaissance d'image, et doivent tout d'abord apprendre à reconnaître des images. Pour cela ils travaillent à partir d'une banque d'images qu'on leur fournira, qu'on appelle base de données, et qu'ils essaieront de reconnaître. En cas d'erreur, le réseau se modifiera afin de s'améliorer. Pour cela il faut donc lui fournir une grande quantité d'images afin qu'il puisse définir les caractéristiques principales de ce qu'il doit reconnaître. Si on prend l'exemple de photos de chats, plus le réseau aura "vu" de chats, plus il sera capable de les identifier, qu'ils soient de face, de profil, vus de dessus, en partie cachés par d'autres objets, et quelle que soit la couleur de leur pelage.

Les réseaux de neurones sont actuellement utilisés de la même façon pour développer des systèmes de reconnaissance automatique de foraminifères par ordinateur. Ces réseaux apprennent à identifier les espèces de foraminifères à partir d'une banque de photos de tests. L'étape de préparation de la banque est importante pour que le réseau puisse identifier correctement les tests, même si leur orientation change ou qu'ils présentent des variations morphologiques naturelles.

**POUR EN SAVOIR PLUS...**

Le réseau de neurones présenté ici est basé sur le principe de fonctionnement du Perceptron. Le Perceptron est le premier réseau de neurones artificiels à avoir été créé, à la fin des années 1950. Ce système avait la particularité de pouvoir apprendre par ses erreurs, en s'entraînant à partir de nombreux exemples qu'on lui fournissait.

Depuis il y a eu beaucoup de progrès dans le développement des réseaux de neurones artificiels, utilisés pour de nombreuses applications : prévoir le trafic routier, reconnaître des visages sur des photos, trier le courrier en analysant les codes postaux, ou encore prévoir le temps qu'il va faire.

**Article sur le perceptron :**

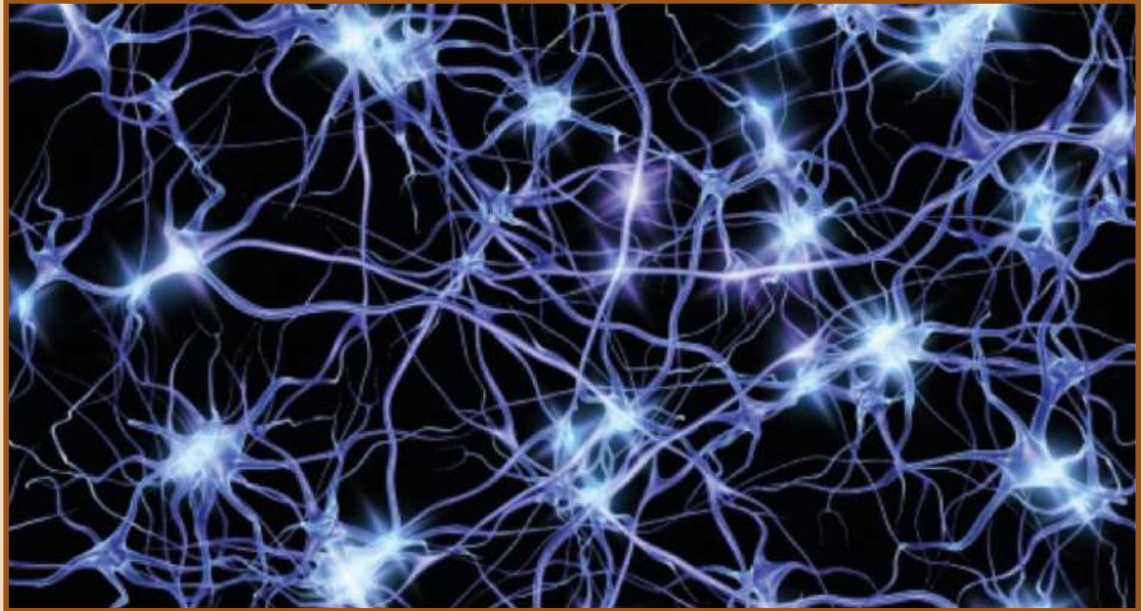
Ilyes Talbi (15 mars 2020). Réseaux de neurones : toute l'histoire du perceptron.

La Revue IA, <https://larevueia.fr/reseaux-de-neurones-toute-lhistoire-du-perceptron/>



**Act  
4**

**ANNEXE 1**  
IMAGE D'UN RÉSEAU DE NEURONES ET  
SCHÉMA D'UN NEURONE



Réseau de neurones dans le cerveau

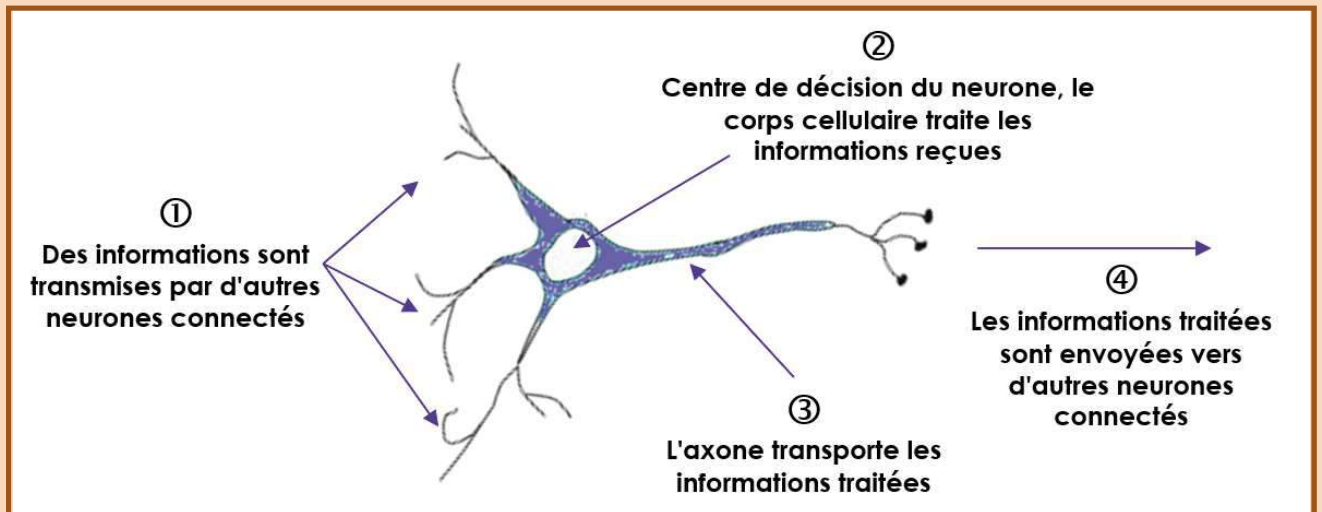


Schéma d'un neurone



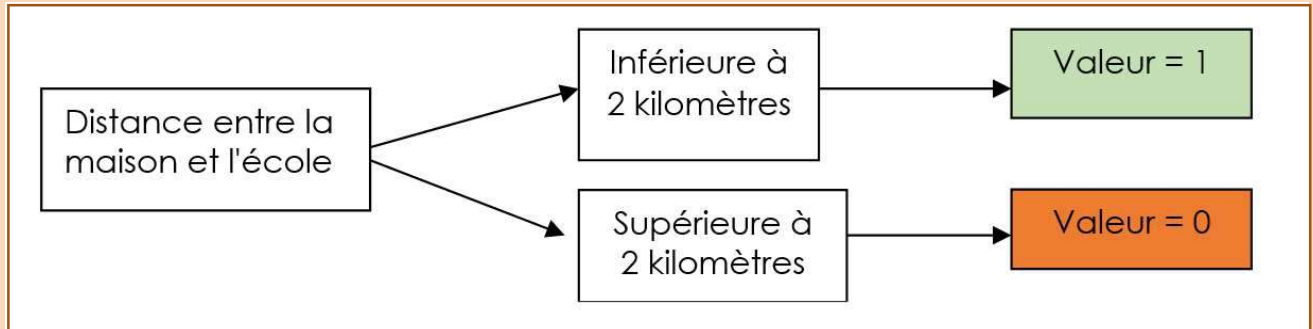


**Act 4**

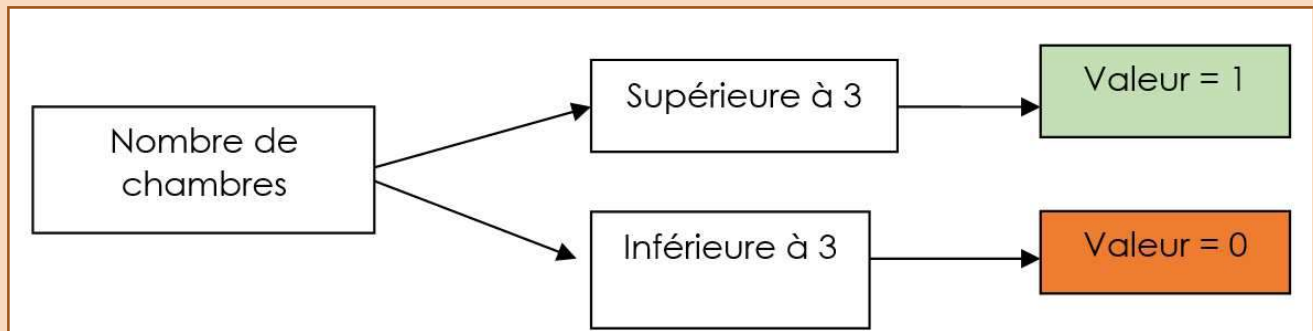
**ANNEXE 2**

VALEURS DES CRITÈRES SELON LES CHOIX RETENUS POUR L'ACHAT D'UNE MAISON

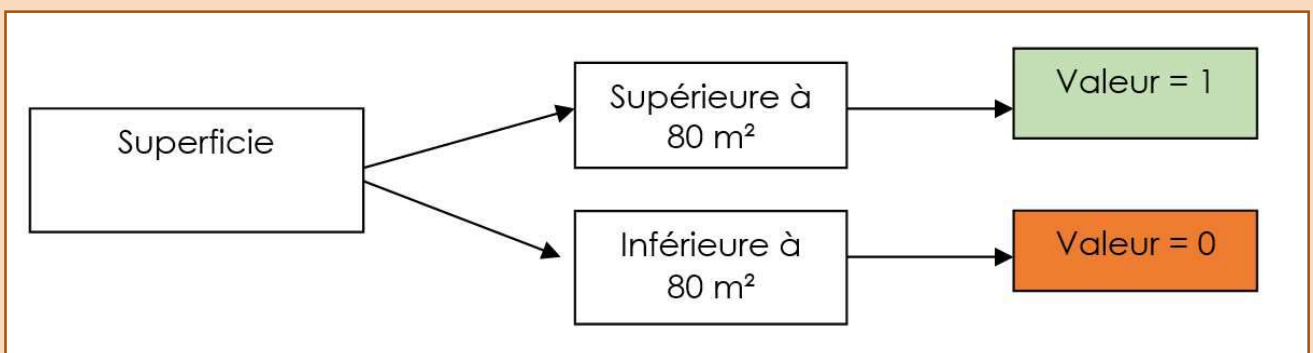
**Critère n°1 :**



**Critère n°2 :**



**Critère n°3 :**





Act  
4

ANNEXE 3 - 1

EXEMPLE DE RÉSULTATS OBTENUS EN UTILISANT LE PROGRAMME QUICK, DRAW DE GOOGLE

Dessin d'un œil, reconnu par le programme Quick, Draw

**Vous deviez dessiner œil**

Vous avez dessiné ceci, et le réseau de neurones a reconnu votre dessin.

Comment sait-il à quoi ressemble œil ?

Il l'a appris en regardant ces dessins d'autres personnes.




Act  
4


ANNEXE 3 - 2

EXEMPLE DE RÉSULTATS OBTENUS EN UTILISANT LE PROGRAMME QUICK, DRAW DE GOOGLE

Dessin de frites, non reconnu par le programme Quick, Draw




**Vous deviez dessiner frites**

Vous avez dessiné ceci, mais le réseau de neurones n'a pas reconnu votre dessin.












---

Il a pensé que votre dessin ressemblait plutôt à ceci :

<p>Résultat le plus proche rouge à lèvres</p> 	<p>2<sup>e</sup> résultat le plus proche marqueur</p> 	<p>3<sup>e</sup> résultat le plus proche crayon de couleur</p> 
--	--	---

À quoi pense-t-il que ressemble frites ?  
Il l'a appris en regardant ces dessins d'autres personnes.



## Act 5

# RECONNAISSANCE D'IMAGES : LES PIÈGES

### Partons d'un questionnaire :

Les ordinateurs sont-ils toujours fiables pour identifier des images ? Ou peuvent-ils faire des erreurs ? Dans cette activité nous verrons quelles peuvent être les limites de la reconnaissance d'images.

### Matériel :

- Images non reconnues par un ordinateur (annexe 1)
- Facultatif : ordinateur et connexion Internet
- Photos de tests de foraminifères, reconnues ou non par un ordinateur (annexe 2)

## DÉCOUVRIR DES EXEMPLES D'ERREURS DE RECONNAISSANCE D'IMAGE

### Protocole :

L'annexe 1 présente des images que des chercheurs ont soumises à un réseau de neurones artificiel, et qui ont été mal identifiées.

Montrer ces images aux enfants et leur demander de décrire ce qu'ils voient. Est-ce facile pour eux d'identifier ces images ? Peuvent-ils expliquer ce qu'ils ont regardé pour réaliser cette identification ?

Indiquer ensuite aux enfants ce que l'ordinateur a reconnu. Peuvent-ils deviner pourquoi ces images ont été mal interprétées, confondues avec autre chose ?

## TESTER UNE APPLICATION DE RECONNAISSANCE D'IMAGE

### Protocole :

Si l'on dispose d'un ordinateur et d'une connexion Internet, on pourra tester l'application de reconnaissance d'image Cloud Vision de Google, accessible à l'adresse suivante :

<https://cloud.google.com/vision/docs/drag-and-drop>

Fonctionnement de l'application : on soumet une image à l'outil, qui l'analyse et détecte les objets et les visages, pour ensuite les classer. Les enfants pourront voir s'ils sont d'accord ou non avec la classification réalisée par l'application.

## LES ERREURS DE RECONNAISSANCE DE FORAMINIFÈRES

### Protocole :

Montrer aux enfants les images de l'annexe 2. Elles représentent des photos de tests de foraminifères qui ont ou non été reconnues par un ordinateur. Quelles sont d'après eux les raisons des erreurs d'identification ? Peuvent-ils imaginer des solutions pour améliorer la reconnaissance d'images ?



## CONCLUSION

Discuter des différences entre identification manuelle et identification par ordinateur des foraminifères. Quels sont les avantages et les inconvénients de chaque méthode ?

### Explications :

Pour reconnaître une image, un ordinateur se base sur les formes, les textures, les couleurs, ce qu'il y a en arrière-plan. Cependant, même si d'énormes progrès ont été réalisés dans ce domaine, il y a parfois des erreurs d'identification. En effet un ordinateur peut généraliser certaines caractéristiques à un objet donné, même si cet objet n'est pas présent sur l'image. C'est pour cela que, par exemple, il pourra confondre ce qui semble être le manche d'un outil de jardinage avec une banane : un objet jaune, allongé, et de texture lisse. Un ordinateur pourra également avoir du mal à reconnaître correctement une image si l'on fait varier ces caractéristiques. A l'inverse, nous sommes la plupart du temps capables de reconnaître très rapidement des objets placés dans des environnements différents, orientés différemment, ou de différentes couleurs. Nous pouvons également identifier le contexte, et décrire de façon précise ce que nous voyons sur une image. Ainsi, même l'une des applications les plus performantes actuellement (Cloud Vision de Google) n'arrive pas encore à égaler l'humain.

La reconnaissance de tests de foraminifères par un ordinateur peut se heurter aux mêmes problématiques. Si les tests sont mal orientés, si leur taille est trop variable, ou si l'image n'est pas assez contrastée ou trop sombre, l'ordinateur aura du mal à corréliser les formes et couleurs détectées avec des espèces qu'il connaît déjà. Pour essayer d'améliorer les résultats des classifications, les spécialistes peuvent prétraiter les images en améliorant le contraste et la luminosité, ou encore en recadrant l'image de façon à ce que les tests aient à peu près la même taille.

L'ordinateur procédant par comparaison avec ce qu'on lui a déjà montré, il est également important de lui fournir lors de la phase d'apprentissage une banque d'images adaptée. L'identification des tests de foraminifères sera plus fiable si l'ordinateur a déjà "vu" des tests sous différents angles, ou présentant des variations morphologiques.

L'identification par ordinateur présente des différences par rapport à l'identification manuelle. En effet la taille peut être un critère d'identification important pour certaines espèces, mais ne peut être utilisée si les images sont recadrées. De même on ne pourra pas se servir du nombre de loges et d'ouvertures, les images ne représentant les tests que sous un seul angle de vue. Néanmoins, dans les cas où ces critères ne sont pas déterminants, l'identification par ordinateur permet aux chercheurs de gagner un temps considérable.

## POUR EN SAVOIR PLUS...

### • Article scientifique et articles de presse sur les erreurs d'identifications :

Dan Hendrycks, Kevin Zhao, Steven Basart, Jacob Stein-hardt, and Dawn Song. Natural adversarial examples. arXivpreprint arXiv:1907.07174, 2019.

1-0 pour l'humain : ces images auxquelles l'IA ne comprend rien (20 juillet 2019). Journal du Geek, <https://www.journaldugeek.com/2019/07/20/1-0-pour-lhumain-ces-images-auxquelles-lia-ne-comprend-rien/>

James Vincent (19 juillet 2019). If you can identify what's in these images, you're smarter than AI. The Verge, <https://www.theverge.com/2019/7/19/20700481/ai-machine-learning-vision-system-naturally-occurring-adversarial-examples>

### • Articles sur l'application de reconnaissance d'image Cloud Vision de Google :

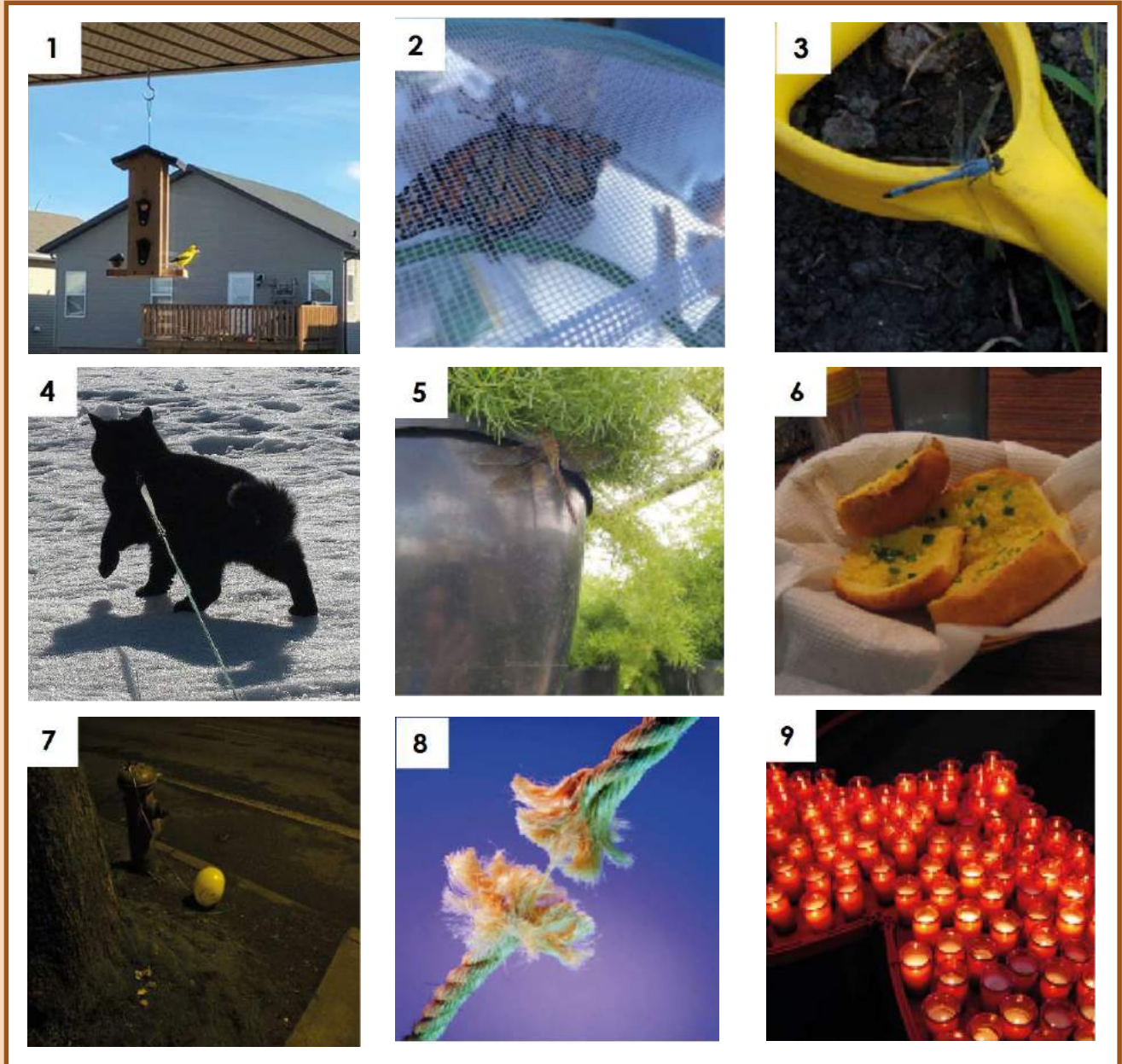
Olivier Andrieu (24 avril 2019). Testez l'intelligence artificielle de Google dans la reconnaissance d'images. Abondance, <https://www.abondance.com/20190424-39523-testez-lintelligence-artificielle-de-google-dans-la-reconnaissance-dimages.html>

Antoine Crochet-Damais (1er octobre 2019). Reconnaissance d'images : l'IA de Google devance celle d'Amazon. Journal du Net, <https://www.journaldunet.com/solutions/dsi/1445889-reconnaissance-d-images-l-ia-de-google-devance-celle-d-amazon-selon-statista/>



Act  
5

ANNEXE 1  
IMAGES NON RECONNUES PAR L'ORDINATEUR



Noms que l'ordinateur a attribués aux images :












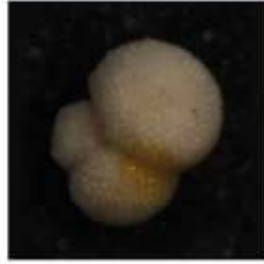
1 : phare – 2 : machine à laver – 3 : banane – 4 : ours noir 5 : éléphant de mer – 6 : hot-dog – 7 : table de billard  
8 : méduse – 9 : citrouille d'halloween



**Act 5**

**ANNEXE 2**

IMAGES DE FORAMINIFÈRES RECONNUES OU NON PAR L'ORDINATEUR

Images reconnues		Images non reconnue	
<b>Globigerinoides ruber</b>			
			
<b>Globigerinella siphonifera</b>			
			
<b>Trilobatus sacculifer</b>			
			



L'étude de tests de foraminifères en laboratoire passe par une première étape de tri et d'identification des espèces retrouvées dans les sédiments marins. Cette étape se fait généralement manuellement, en observant les échantillons au microscope et en les manipulant délicatement à l'aide d'un pinceau.

Ce travail fastidieux et nécessitant une certaine expertise prend énormément de temps aux chercheurs, parfois plusieurs mois. Ainsi depuis de nombreuses années plusieurs laboratoires ont essayé de développer des systèmes d'identification automatique de foraminifères, en utilisant l'intelligence artificielle.

**Comment fonctionne l'intelligence artificielle  
dans ce cadre particulier ?  
Quelles sont les différences  
entre identification manuelle et automatique des foraminifères ?**

