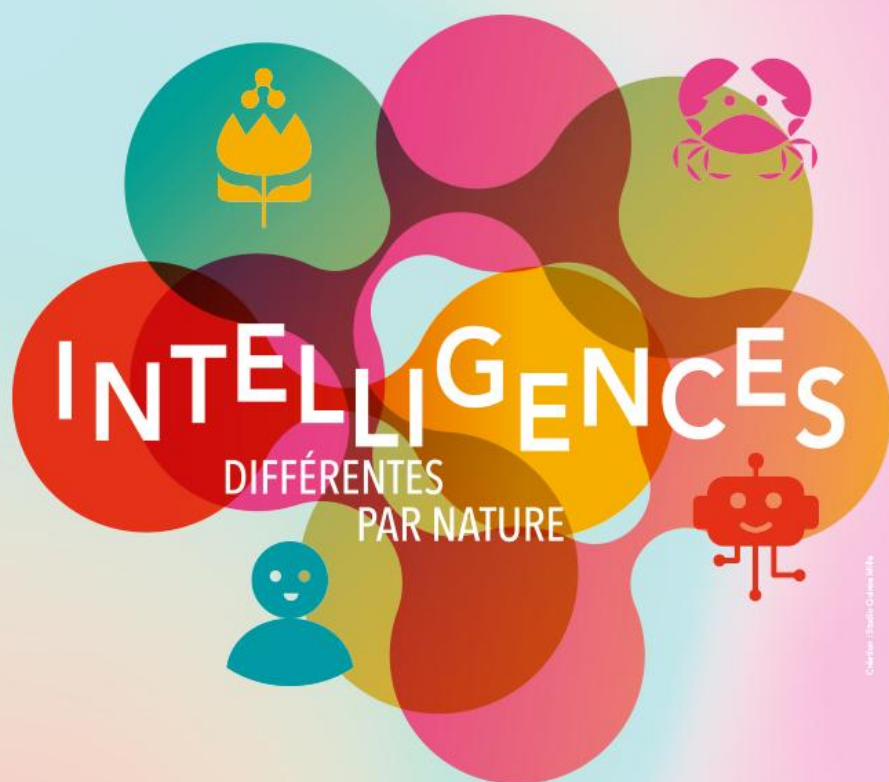


Exposition temporaire
du 26 septembre 2023
au 10 mars 2024

DOSSIER PÉDAGOGIQUE

Enseignants premier et second degré



Chloé LAMY et Didier THIEURMEL,
professeurs relais DAAC à l'Espace
des sciences de Rennes

Sommaire

L'exposition <i>INTELLIGENCES – Différentes par nature</i> à l'Espace des sciences, les contenus	2
Liens avec les programmes scolaires.....	4
Possibilités d'exploitations de l'exposition «INTELLIGENCES» (1 ^{er} degré)	9
1) L'exposition sert de supports aux investigations :	9
2) L'exposition et l'animation sont un point de départ qui vont inciter la classe à :	10
Deux projets à mener après la visite de l'exposition	10
1. Intelligence des abeilles – Etude de documents cycle 3	10
2. Intelligence des végétaux – Etude de documents.....	12
3. Intelligence des végétaux - Expérience	13
Possibilités d'exploitations de l'exposition «INTELLIGENCES» (2 nd degré)	15
Pour conclure : l'Espace des sciences en pratique.....	23

L'exposition **INTELLIGENCES – Différentes par nature** à l'Espace des sciences, les contenus

Il y a longtemps, on pensait qu'il n'existait sur Terre qu'une seule forme d'intelligence : celle des humains et personne d'autre. Depuis peu, les savants et les amateurs découvrent d'autres intelligences : les animaux, les plantes et même les ordinateurs font preuve d'un comportement loin d'être « bête ». La vieille hiérarchie est ébranlée. Toutes les intelligences s'invitent sur scène, se mêlent et rebondissent les unes sur les autres...

L'exposition *INTELLIGENCES* est répartie sur 4 espaces permettant de s'interroger sur 4 facettes de l'intelligence :

- **Intelligences cellulaires et végétales** : Pour réaliser que même les plus petits êtres vivants que l'on trouve autour de nous ont des comportements indiquant une forme d'intelligence.
- **Intelligences animales** : Pour découvrir toutes les manifestations de l'intelligence animale (utilisation d'outils, insectes sociaux,...)
- **Intelligences humaines** : Pour découvrir l'évolution du cerveau de l'Homme depuis la préhistoire et le lien fait avec l'intelligence, ainsi que les différentes formes d'intelligences (inné ou acquis, empathie, HPI,...).
- **Intelligences artificielles** : Pour mieux comprendre le fonctionnement de l'intelligence artificielle et savoir comment les machines apprennent.

43 dispositifs interactifs incitent à une découverte dynamique, par le biais du jeu et de l'expérimentation, seul ou en équipe. Il ne s'agit pas de savoir « si on est intelligent » mais bien de réaliser que chaque action de la vie quotidienne demande de faire preuve de capacités cognitives, relationnelles, adaptatives... que l'on soit humain, fourmi, pâquerette, blob ou robot...

INTELLIGENCES – Différentes par nature a été créée par le MUSEUM D'HISTOIRE NATURELLE DE NANTES, le MUSEE DU FJORD DE SAGUENAY (Québec, Canada) et L'ESPACE DES SCIENCES. Elle a été financée par L'ESPACE DES SCIENCES.

Les objectifs pédagogiques :

- Découvrir qu'il existe plusieurs formes d'intelligence.
- Comprendre que certains organismes sont intelligents sans avoir de vrai cerveau, ou avec un cerveau de très petite taille.
- Voir la science en train de se faire : « échanger » avec des chercheurs, voir les changements de point de vue des scientifiques.

ESPACE 1 : Intelligences cellulaires et végétales

Il s'agit, dans le premier espace de l'exposition, de se confronter à des formes d'intelligences peu visibles par l'Homme : les intelligences cellulaires et végétales. On commence en découvrant la bactérie E. Coli avec un puzzle pour reconstituer la bactérie, ainsi qu'un film mettant en évidence des formes d'intelligence de la bactérie, notamment dans sa façon de se défendre et de communiquer. Ensuite les élèves découvrent le blob, un être sans cerveau mais qui s'adapte de façon très intelligente

à son milieu. Les élèves auront à ce moment, l'occasion d'échanger virtuellement avec Audrey Dussutour, une chercheuse française qui a beaucoup étudié le Blob.

La seconde partie de cet espace est dédiée à la vie végétale. Une manipulation reliée à de courtes animations filmées permet d'en apprendre plus sur l'adaptation des arbres à leur milieu, puis un quiz sur les végétaux permet aux élèves de découvrir les capacités d'adaptation d'un grand nombre de végétaux à différentes contraintes environnementales. Pour conclure cet espace, les élèves pourront poser des questions pré-enregistrées à Catherine Lenne, chercheuse, sur l'intelligence et la sensibilité des plantes.

ESPACE 2 : Intelligences animales

Les élèves vont découvrir ici les différentes formes d'intelligences animales, en commençant par les insectes sociaux et les déplacements en groupe. Ils expérimenteront, avec un jeu coopératif, la construction d'une termitière avec des coéquipiers. Ils découvriront également l'utilisation d'outils par certains animaux et se confronteront à une expérience proposée à différents animaux : utiliser une baguette pour déplacer un objet de l'autre côté d'une grille.

Les capacités extraordinaires de certains animaux sont également abordées dans cet espace. Les élèves pourront parcourir le « buisson des intelligences », maintenant que nous comprenons que l'homme n'est pas le seul être intelligent, on ne peut plus visualiser l'arbre de l'évolution, mais bien un buisson très large. Une exposition de moulage de cerveaux de différents animaux peut également être observée. Un jeu d'association animal/cerveau est ensuite proposé.

Tout comme dans l'espace précédent, deux bornes vidéos permettent d'échanger avec des chercheurs sur des points abordés dans l'exposition. Les élèves peuvent ainsi poser des questions sur les insectes sociaux à Guy Théraulaz et sur les intelligences dans le buisson de l'évolution à Emmanuelle Pouydebat.

ESPACE 3 : Intelligences humaines

Dans cet espace, les élèves commencent par découvrir les différences physiques entre le cerveau des humains et des primates et les conséquences sur nos différentes capacités.

La phrénologie, étude aujourd'hui réfutée faisant le lien entre la taille de la tête et l'intelligence, est présentée ici. Les visiteurs peuvent ainsi mesurer leur tour de tête et observer l'analyse qui est proposée. Les tests de QI et le débat inné/acquis sont également abordés afin d'en comprendre le fonctionnement et les limites. Un jeu de carte est aussi proposé afin de comprendre l'empathie.

Cet espace se termine par une présentation de l'intelligence des peuples à travers le monde : comment l'Homme a su s'adapter à son milieu.

ESPACE 4 : Intelligences artificielles

Cet espace commence par une présentation de l'histoire de l'intelligence artificielle avec une bande dessinée. Les élèves pourront ensuite comprendre comment un algorithme apprend, et participer à son apprentissage à travers plusieurs jeux et manipulations. Un échange interactif avec un chercheur (Kévin Bouchard) est proposé sur le thème de l'intelligence artificielle.

Les élèves apprendront également comment fonctionnent les captcha, et comment nos données personnelles sont collectées partout où nous allons.

Liens avec les programmes scolaires

Socle commun de connaissances, de compétences et de culture

Domaine 1 : Les langages pour penser et communiquer

L'élève utilise les principes du système de numération décimal et les langages formels (lettres, symboles...) propres aux mathématiques et aux disciplines scientifiques, notamment pour effectuer des calculs et modéliser des situations. Il lit des plans, se repère sur des cartes. Il produit et utilise des représentations d'objets, d'expériences, de phénomènes naturels tels que schémas, croquis, maquettes, patrons ou figures géométriques. Il lit, interprète, commente, produit des tableaux, des graphiques et des diagrammes organisant des données de natures diverses. Il sait que des langages informatiques sont utilisés pour programmer des outils numériques et réaliser des traitements automatiques de données. Il connaît les principes de base de l'algorithmique et de la conception des programmes informatiques. Il les met en œuvre pour créer des applications simples.

Domaine 3 : La formation de la personne et du citoyen

L'élève, en tant que futur citoyen apprend à exprimer ses émotions, respecter les autres, refuser la discrimination. Il respecte les opinions et la liberté d'autrui, identifie et rejette toute forme d'intimidation ou d'emprise. Apprenant à mettre à distance préjugés et stéréotypes, il est capable d'apprécier les personnes qui sont différentes de lui et de vivre avec elles. Il est capable aussi de faire preuve d'empathie et de bienveillance. L'élève est attentif à la portée de ses paroles et à la responsabilité de ses actes.

L'élève vérifie la validité d'une information et distingue ce qui est objectif et ce qui est subjectif. Il apprend à justifier ses choix et à confronter ses propres jugements avec ceux des autres. Il sait remettre en cause ses jugements initiaux après un débat argumenté, il distingue son intérêt particulier de l'intérêt général. Il met en application et respecte les grands principes républicains.

Domaine 4 : Les systèmes naturels et les systèmes techniques

« Questionner le monde » constitue l'enseignement privilégié pour formuler des questions, émettre des suppositions, imaginer des dispositifs d'exploration et proposer des réponses. Par l'observation fine du réel dans trois domaines, le vivant, la matière et les objets, la démarche d'investigation permet d'accéder à la connaissance de quelques caractéristiques du monde vivant, à l'observation et à la description de quelques phénomènes naturels et à la compréhension des fonctions et des fonctionnements d'objets simples. La familiarisation de l'élève avec le monde technique passe par la connaissance du fonctionnement d'un certain nombre d'objets et de systèmes et par sa capacité à en concevoir et en réaliser lui-même. Ce sont des occasions de prendre conscience que la démarche technologique consiste à rechercher l'efficacité dans un milieu contraint (en particulier par les ressources) pour répondre à des besoins humains, en tenant compte des impacts sociaux et environnementaux.

L'objectif de cet enseignement est bien de poser les bases permettant de pratiquer des démarches scientifiques et techniques. Les démarches scientifiques développent chez l'élève la rigueur intellectuelle, l'habileté manuelle et l'esprit critique, l'aptitude à démontrer, à argumenter. En s'initiant à ces démarches, concepts et outils, l'élève se familiarise avec les évolutions de la science et de la technologie ainsi que leur histoire, qui modifient en permanence nos visions et nos usages de la planète.

Domaine 5 : Les représentations du monde et l'activité humaine

Les enseignements « Questionner le monde », puis Sciences de la Vie et de la Terre au collège et lycée, initient les élèves à la diversité des expériences humaines et des formes qu'elles prennent, notamment avec les découvertes scientifiques et techniques, dans le but de connaître et comprendre le monde que les êtres humains tout à la fois habitent et façonnent.

Ce domaine conduit aussi à étudier les caractéristiques des organisations et des fonctionnements des sociétés. Il initie à la diversité des expériences humaines et des formes qu'elles prennent : les découvertes scientifiques et techniques, les diverses cultures, les systèmes de pensée et de conviction, l'art et les œuvres, les représentations par lesquelles les femmes et les hommes tentent de comprendre la condition humaine et le monde dans lequel ils vivent. Il implique également une réflexion sur soi et sur les autres, une ouverture à l'altérité, et contribue à la construction de la citoyenneté.

Parcours EAC

La visite de cette exposition s'inscrit dans le parcours d'éducation artistique et culturelle de l'élève (EAC), de l'école primaire à la fin du lycée. Elle permettra de mettre en jeu des connaissances, des pratiques expérimentées et des rencontres dans le domaine des sciences.

Cycle 2 : Questionner le monde et Enseignement moral et civique

QUESTIONNER LE MONDE DU VIVANT, DE LA MATIERE ET DES OBJETS

Pratiquer des langages

Communiquer en français, à l'oral et à l'écrit, en cultivant précision, syntaxe et richesse du vocabulaire ; Lire et comprendre des textes documentaires illustrés ; Extraire d'un texte ou d'une ressource documentaire une information qui répond à un besoin, une question.

Pratiquer des démarches scientifiques

Pratiquer, avec l'aide des professeurs, quelques moments d'une démarche d'investigation : questionnement, observation, expérience, description, raisonnement, conclusion.

Pour cette première découverte de la science, les élèves sont placés dans une pratique active de démarche d'investigation. Ils développent ainsi des manières de penser, raisonner tout en cultivant le langage oral et écrit. Les élèves questionnent leurs expérimentations, en lien avec leur vécu, tout en construisant des premiers modèles ou des concepts simples dans le but d'interpréter et expliquer. Tout contribue, ici, à développer l'esprit critique et la rigueur scientifique, le raisonnement, le goût de la recherche, la curiosité et la créativité.

Connaître des caractéristiques du monde vivant, ses interactions, sa diversité

Identifier ce qui est animal, végétal, minéral ou élaboré par des êtres vivants ; Identifier les interactions des êtres vivants entre eux et avec leur milieu.

ENSEIGNEMENT MORAL ET CIVIQUE

Culture de la sensibilité

Identifier et exprimer en les régulant ses émotions et ses sentiments ; Accepter les différences ; Se sentir membre d'une collectivité ; S'estimer et être capable d'écoute et d'empathie ; Exprimer son opinion et respecter l'opinion des autres ; Être capable de coopérer.

Culture du jugement

Développer les aptitudes au discernement et à la réflexion critique ; S'informer de manière rigoureuse ; Confronter ses jugements à ceux d'autrui dans une discussion ou un débat argumenté et réglé.

Cycle 3 : Sciences et technologies et Enseignement moral et civique

SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Pratiquer des démarches scientifiques et technologiques

Formuler une question ou un problème scientifique ou technologique ; Proposer et/ou suivre un protocole expérimental ; Participer à l'élaboration et à la conduite d'un projet ; Interpréter des résultats de façon raisonnée et en tirer des conclusions en mobilisant des arguments scientifiques ; Communiquer sur les démarches, les résultats et les choix en argumentant.

Pratiquer des langages

Rendre compte de ses activités en utilisant un vocabulaire précis et des formes langagières spécifiques des sciences et des techniques ; Exploiter un document constitué de divers supports (texte, schéma, graphique, tableau, algorithme simple, carte heuristique) ; Utiliser différents modes de représentation (schéma, dessin, croquis, tableau, graphique, texte, etc.) et passer d'une représentation à une autre ; Expliquer un phénomène à l'oral et à l'écrit.

Adopter un comportement éthique et responsable

Relier des connaissances acquises en sciences et technologie à des questions de santé, de sécurité et d'environnement.

Faire preuve d'esprit critique

Vérifier l'existence de preuves et en évaluer la qualité ; Evaluer la pertinence des arguments et/ou identifier des arguments fallacieux.

Classer les organismes, exploiter les liens de parenté pour comprendre et expliquer l'évolution des organismes

Reconnaitre une cellule ; Utiliser différents critères pour classer les êtres vivants ; identifier des liens de parenté entre des organismes ; Évolution à l'échelle des espèces ou des populations ; Découvrir que tout être vivant produit sa matière à partir de celle qu'il prélève ; Relier la production de matière par les organismes chlorophylliens et leurs besoins.

ENSEIGNEMENT MORAL ET CIVIQUE

Le respect d'autrui

Respecter autrui et accepter les différences : Respect des différences ; Les préjugés et les stéréotypes ; L'intégrité de la personne.

Identifier et exprimer les émotions et les sentiments

Partager et réguler des émotions, des sentiments dans des situations d'enseignement ; Mobiliser le vocabulaire adapté à leur expression.

Comprendre et expérimenter l'engagement dans la classe, dans l'école et dans l'établissement

S'engager dans la réalisation d'un projet collectif (projet de classe, d'école, communal, national, etc) ; Pouvoir expliquer ses choix et ses actes ; Savoir participer et prendre sa place dans un groupe ; Coopérer dans le cadre des projets et des travaux de groupes.

Cycle 4 : SVT

Le vivant et son évolution

Le corps humain et la santé

Mettre en évidence le rôle du cerveau dans la réception et l'intégration d'informations multiples.

Message nerveux, centres nerveux, nerfs, cellules nerveuses.

Activité cérébrale ; hygiène de vie : conditions d'un bon fonctionnement du système nerveux, perturbations par certaines situations ou consommations (seuils, excès, dopage, limites et effets de l'entraînement).

Classe de seconde

Corps humain et santé

Le système de récompense.

En 1^{ère} enseignement scientifique

Son et musique, porteurs d'information

Des aires cérébrales spécialisées reçoivent les messages nerveux auditifs. Certaines permettent, après apprentissage, l'interprétation de l'univers sonore (parole, voix, musique, etc.).

Corps humain et santé

Cerveau et mouvement volontaire

Structure du cerveau : neurones, cellules gliales

L'exploration du cortex cérébral : localisation des aires motrices spécialisées à l'origine des mouvements volontaires.

Circulation des messages nerveux de la commande volontaire

Dysfonctionnements du système nerveux modifient le comportement et ont des conséquences sur la santé.

La plasticité cérébrale

Comportements et stress : vers une vision intégrée de l'organisme

Certaines pratiques non médicamenteuses sont aussi susceptibles de limiter les dérèglements et de favoriser la résilience du système. Chaque individu est différent face aux agents stressseurs, le stress intégrant des dimensions multiples et liées.

Possibilités d'exploitations de l'exposition «INTELLIGENCES» (1^{er} degré)

Voici des propositions d'exploitations pour des élèves du premier degré, du CE2 au CM2.

1) L'exposition sert de supports aux investigations :

Avant la visite, plusieurs temps sont à prévoir en classe :

- **Un temps d'émergence des représentations : l'enseignant demande aux élèves**
 - Ca veut dire quoi être intelligent ? Est-ce qu'il faut un cerveau pour être intelligent ? Est-ce qu'on définit l'intelligence de tous les êtres vivants à partir d'un même test ?
 - Puis, proposer de classer les êtres vivants selon qu'ils sont particulièrement intelligent ou dans la moyenne du règne animal ou végétal : un coquelicot, un cactus, un tournesol, le blob, une abeille, le chien, le dauphin, le perroquet, le cochon, le chat, la poule, la fourmi, l'éléphant, le tigre, le chimpanzé, le pigeon, l'écureuil, la mésange, la hyène, la souris, le hérisson, etc.

- **Un temps de confrontation des recherches qui permet de faire émerger, une première définition de l'intelligence animale et végétale :**

L'interrogation suscitée dans l'étape précédente sur le niveau d'intelligence de certaines espèces animales conduit les élèves à exprimer des préjugés, des conceptions initiales de source plus ou moins sûres. On peut dès lors compléter cette première approche par une recherche documentaire sur les preuves d'intelligence des espèces citées plus haut. L'idée est de permettre aux élèves de prendre conscience que les marqueurs d'intelligence des êtres vivants sont liés à leur capacité à s'adapter à leur environnement.

- **Un temps de visite de l'exposition :**

La classe dispose d'une liste de questions et des hypothèses émises pour chaque question, hypothèses qu'il va falloir soumettre à l'investigation.

A l'enseignant d'organiser le travail des élèves (soit tous les groupes disposent des mêmes questions, soit les questions sont réparties entre les groupes). Cela permettra une meilleure répartition du travail sur place (sans que cela empêche les élèves de découvrir l'ensemble de l'exposition).

L'enseignant pourra communiquer la liste des questions à l'animateur afin que celui-ci y réponde au cours de son intervention (sous réserve d'avoir contacté un(e) médiateur(trice) en amont).

Dans tous les cas, que la classe ait identifié des questions en amont de la visite ou non, un *carnet du petit chercheur* créé par l'Espace des sciences est proposé aux élèves pour les amener à s'interroger sur le sujet des intelligences grâce à quelques questions qui les guideront dans la salle d'exposition.

- **Pendant l'animation et en visitant l'exposition, les élèves pourront :**
 - Observer,
 - Chercher des réponses dans les documents disponibles,
 - Interroger l'animateur scientifique.

- **Après la visite et l'animation :**

Mises en commun, rédaction de comptes rendus dans le cahier de sciences, réalisation d'une exposition pour les autres classes de l'école, réalisation d'exposés pour une classe ouverte,...

2) L'exposition et l'animation sont un point de départ qui vont inciter la classe à :

- Approfondir certains points, identifier des questions qui seront suivies d'une recherche documentaire.
- Réaliser des exposés sur l'intelligence dans le règne animal et végétal (êtres vivants avec des capacités remarquables, différentes preuves d'intelligence, utilisation d'outils, etc.).
- Se questionner sur les différences entre l'évaluation de l'intelligence chez l'Homme, par rapport aux autres êtres vivants.

Il est possible d'aborder l'exposition à partir d'autres entrées :

- L'intelligence des abeilles
- L'intelligence des végétaux

Deux projets à mener après la visite de l'exposition

Les deux projets suivants proposent une étude de documents pour compléter les informations vues lors de la visite de l'exposition. Ce sera l'occasion pour les élèves d'aller plus loin, à leur rythme, pour comprendre certains mécanismes associés à l'intelligence des êtres vivants. Ces études de documents sont plus adaptées à des élèves de cycle 3, mais certains documents peuvent être accessibles à des élèves de CE2.

1. Intelligence des abeilles – Etude de documents cycle 3

Le corpus de documents présentés ci-dessous est plutôt adapté à des élèves de cycle 3. Pour des élèves de cycle 2, la vidéo du document 1 peut éventuellement être accessible, ainsi que le document 2 présentant les différentes formes de danse des abeilles.

Document 1 – Les abeilles savent compter (source : Aurore Avarguès-Weber)

Vidéo : https://www.youtube.com/watch?v=3-I-Ck_jfDw

Les abeilles ont un cerveau de 1 mm^3 qui contient environ 960 000 neurones. En comparaison, l'Homme a un cerveau contenant 100 000 fois plus de neurones, avec une taille de 1450 cm^3 .

Quand on fait des simulations pour essayer de voir combien de neurones il faudrait pour faire ce que font les abeilles (calcul, communication par la danse, etc.) on ne parvient pas à faire rentrer cela dans un cerveau d'abeille. Il faudrait plus de neurones que ce qu'elles possèdent. Elles ont donc trouvé une méthode plus efficace que notre cerveau pour réaliser ces actions et apprentissages.

Document 2 – Les abeilles communiquent avec une forme de langage symbolique

Les abeilles ont plusieurs moyens de communiquer : signaux chimiques (les phéromones), signaux tactiles (contact antennaires) et signaux visuels (la danse des abeilles). La danse des abeilles répond à des codes bien précis pour informer de la présence de source de nectar. Lorsque l'exploratrice effectue une danse en rond, elle informe les autres abeilles que la source de nectar est proche, dans un rayon d'environ quarante mètres. L'abeille décrit alors un cercle, en tournant sur elle-même à un rythme très rapide. La danse frétilante appelée aussi la danse en huit est effectuée lorsque la source de nectar est plus éloignée. L'angle de la danse par rapport à la verticale est identique à l'angle entre la position du soleil dans le ciel, la ruche et le site en question. La durée de la phase frétilante, elle, est corrélée à la distance entre la ruche et le site. Il s'agit donc de la première forme de langage symbolique décrite chez un animal.

Document 3 – Les abeilles maîtrisent des concepts spatiaux abstraits (source : Martin Giurfa, CNRS)

Les chercheurs de l'équipe de Martin Giurfa ont montré que les abeilles sont capables de manipuler des concepts afin d'accéder à de la nourriture. Pour cela, ils ont pris un groupe d'abeilles qu'ils ont entraîné à pénétrer dans une enceinte, afin de récolter de la solution sucrée (comme vu dans la vidéo du document 1). Dans cette enceinte, les abeilles rencontraient, sur chaque cloison, deux images différentes entre elles, soit l'une au-dessus de l'autre (voir photo ci-contre), soit l'une à côté de l'autre.



Figure 1 Abeille entraînée à choisir des images en fonction des relations "au-dessus de" et "différence".
© A. Avarguès-Weber, CRCA

Au milieu de ces paires d'images était placé un trou délivrant une récompense (de l'eau sucrée) ou une punition (une goutte de quinine). Ainsi, les abeilles étaient récompensées sur un concept (« au-dessus de ») et punies sur l'autre (« à côté de »). Les images changeaient régulièrement, mais leur disposition restait toujours « au-dessus de » ou « à côté de », la récompense étant toujours associée à « au-dessus de ». Au bout d'une trentaine d'essais les abeilles reconnaissaient sans faute la relation qui les guiderait vers l'eau sucrée. Même en changeant les images, les abeilles savaient où avoir la récompense en se fiant à la disposition « au-dessus de ».

Ce n'est pas tout : lors de l'entraînement, les images au milieu desquelles se trouvait la récompense étaient toujours différentes entre elles (comme sur la photo ci-dessus). Pour savoir si les abeilles avaient aussi appris cette relation de différence, les chercheurs ont confronté les abeilles à des stimuli nouveaux où les images respectaient la relation récompensée (« l'une au-dessus de l'autre ») mais qui étaient soit différentes entre elles, soit identiques. Les abeilles ont ignoré les

stimuli faits d'images identiques, montrant qu'elles manipulaient aussi le concept de « différence » pour prendre leur décision.

Cette étude remet en question l'idée que des cerveaux mammifères (dont le nôtre), plus importants en taille, sont nécessaires à l'élaboration d'un savoir conceptuel. Elle démontre aussi que la formation de concepts est possible en l'absence de langage.

2. Intelligence des végétaux – Etude de documents

Document 1 – source Bruno Moulia (extrait d'un article paru dans Sciences et Avenir)

Dans une sphère de lumière blanche aveuglante, alimentée par plus de quatre-vingt-dix néons, le chercheur Bruno Moulia de l'Institut national de la recherche agronomique (Inra) de Clermont-Ferrand, installe une jonquille inclinée à l'horizontale, maintenue au milieu par un arceau métallique. A l'abri de toute autre lumière extérieure, la plante - partageant le même comportement que l'arbre - va opérer une drôle de chorégraphie. "Baignant de toute part dans cette lumière, elle ne peut pas l'utiliser pour savoir où est le haut, où est le bas. Pourtant, elle va complètement se redresser vers le haut. Elle perçoit la gravité", explique Bruno Moulia.

Si les plantes (et donc les arbres) poussent droit, ce n'est pas uniquement grâce à l'attraction terrestre. L'équipe de M. Moulia a fait la découverte d'un autre sens, que l'on croyait réservé à l'homme : la proprioception (la perception de la configuration de son propre corps dans l'espace). Les scientifiques auvergnats ont positionné à l'horizontale des arabettes des dames avant de les faire tourner sur elles-mêmes pour les empêcher de s'orienter par rapport à la gravité. Résultat : le petit végétal va continuer de pousser de manière rectiligne, sans chercher à se redresser. "L'arbre perçoit s'il est bien rectiligne ou courbé et a la capacité de se rectifier et de contrôler son équilibre", précise l'agronome-physicien.

L'arbre serait-il donc intelligent ? L'épineuse question interroge la communauté scientifique. "Les arbres combinent beaucoup d'informations. C'est plus complexe que de simples réflexes mais est-ce pour autant de l'intelligence ?", questionne le scientifique.

D'autres études démontrent encore que les arbres sont capables de percevoir des sons et des odeurs, de distinguer leurs voisins et communiquer avec eux, grâce à une série de capteurs. Pour percer le mystère et appréhender s'il existe chez les plantes une "intelligence sans cerveau" et éviter tout "anthropocentrisme", l'Inra collabore désormais avec des spécialistes de l'intelligence artificielle.

Une prise de conscience de la sensibilité du végétal qui pourrait faire évoluer des croyances bien ancrées. "Nos recherches font tomber le mur que notre civilisation occidentale avait dressé depuis Aristote entre animaux, sensibles et capables de mouvement actifs, et les plantes seulement capables de... végéter", souligne Bruno Moulia. "Les plantes sont des êtres pleins de tact, bougeant tout le temps, mais à leur rythme, plus calme que le nôtre".

Document 2 – Vidéo Science & Vie TV

L'intelligence des plantes - Les chroniques de la Science :

<https://www.youtube.com/watch?v=vKZ2ekYK8K4>

Document 3 – source Stefano Mancuso (extrait d'une interview pour le journal Le Temps)

J'ai l'habitude de dire que les plantes ont les mêmes comportements que les animaux, mais qu'elles font les choses différemment, sans se déplacer.

Les folioles de la sensitive (*Mimosa pudica*) se replient quand on les touche. J'ai mené une expérience avec 500 pots de *Mimosa pudica* en les faisant tomber de 3 cm de haut. Au début, les feuilles se

referment à chaque fois. Après quelques répétitions, elles restent ouvertes. On peut se dire que c'est parce qu'elles n'ont plus d'énergie. Mais non : si vous les touchez, elles se referment immédiatement. En fait, les plantes ont mémorisé que la petite chute, n'est pas dangereuse. Après cet apprentissage, on les a laissées tranquilles dans une serre. Deux mois après, on les a de nouveau soumises à la même chute et elles s'en sont souvenues : elles ne se sont pas refermées.

On sait aujourd'hui que les végétaux partagent beaucoup d'informations. Ce sont des êtres sociaux. Dans ma dernière expérience, nous avons deux groupes de plantes. Au pied du premier nous avons mis du sel, qui est très stressant pour les plantes. Après deux semaines, nous avons regardé les effets sur le second groupe, dans le sol duquel il n'y avait pas de sel du tout, elles avaient pourtant développé une résistance au sel. Elles avaient reçu un message des autres et se préparaient au sel. Les végétaux s'échangent des informations sur la qualité de l'air, du sol, sur la présence de pathogènes, sur une agression par des insectes. C'est une communication réelle.

Dans de nombreux cas, les plantes sont même capables de manipuler des animaux avec les substances chimiques qu'elles produisent. Un exemple avec les relations que beaucoup de végétaux entretiennent avec les fourmis : quand des insectes les mangent, les plantes émettent des composés volatils pour appeler les fourmis à l'aide. Celles-ci viennent parce que la plante fabrique du nectar plein de sucre. Elles le boivent et défendent la plante contre ses ennemis. Il ne s'agit pas d'un simple échange «défense contre nourriture» : dans le nectar, il y a aussi des substances neuroactives. Des drogues, qui rendent les fourmis «accros» et les obligent à rester là. Et la plante module ses sécrétions en fonction de ce qu'elle veut obtenir chez les fourmis : qu'elles aient un comportement agressif, qu'elles patrouillent, etc.

Je vais être provocateur en disant que les plantes sont les seuls organismes à régler réellement leurs problèmes, parce que nous autres animaux pensons résoudre nos problèmes mais, en fait, nous utilisons en général le mouvement pour les éviter : il fait froid, alors nous allons dans un endroit plus chaud ; s'il y a un prédateur, nous nous sauvons ; s'il n'y a plus de nourriture, nous nous déplaçons. Les plantes sont confrontées aux mêmes problèmes mais doivent les résoudre sans l'aide du mouvement. Elles sont donc beaucoup plus intelligentes que les animaux!

Contrairement aux animaux qui ont des neurones regroupés en un système nerveux central, chez les plantes toutes les cellules du corps ont ces propriétés. On pourrait envisager la plante comme une sorte de « cerveau diffus ». Je ne pense pas que les plantes soient comme des machines automatiques, elles ne répondent pas à leur environnement de manière automatique, elles font des choix.

3. Intelligence des végétaux - Expérience

En lien avec le document 1 de l'étude de documents sur l'intelligence des végétaux, les élèves peuvent faire une expérience pour tester la capacité des végétaux à ressentir la gravité.

Les élèves ne vont pas chercher une hypothèse à vérifier, mais plutôt se mettre à la place d'un collègue de Bruno Moulia de l'INRA de Clermont-ferrand et reproduire le même type d'expérience, avec des moyens adaptés à ce qui est facilement disponible pour des écoliers.

Protocole expérimental pour tester la capacité des végétaux à ressentir la gravité (d'après l'expérience présentée ci-dessus (doc. 1 Bruno Moulia – Sciences et Avenir):

Positionner une plante dans un pot à l'horizontal et l'enfermer dans un carton assez grand et perforé de nombreux trous espacés régulièrement. Placer plusieurs lampes tout autour du carton, pour s'assurer d'une diffusion de la lumière homogène autour de la plante.

Faire des observations régulières pour vérifier si la plante évolue d'une position horizontale à un redressement vertical par perception de la gravité.

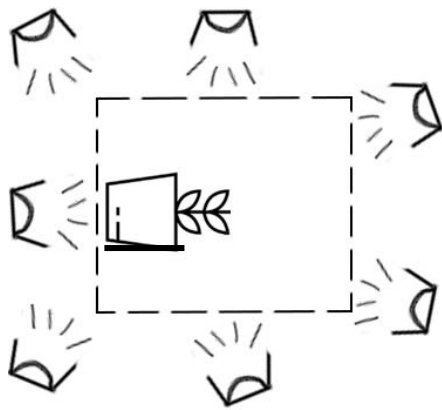


Figure 2 Situation initiale

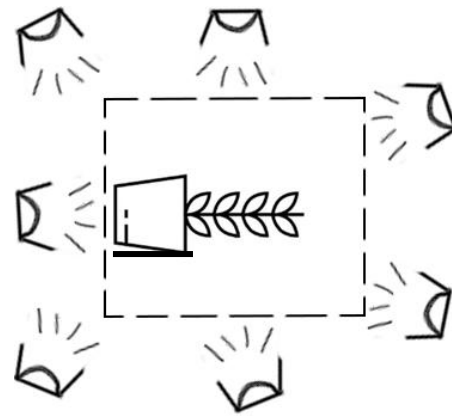


Figure 3 évolution possible théorique 1

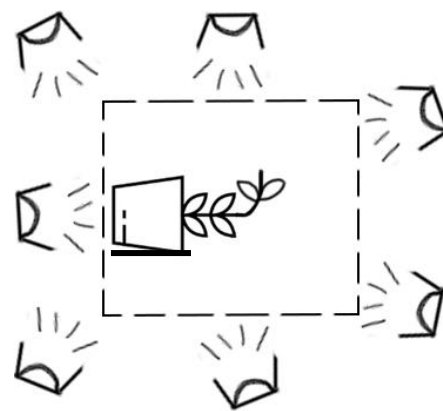


Figure 4 évolution possible théorique 2

Conférence de chercheurs sur les mouvements des plantes :

<https://www.dailymotion.com/video/x2u0zym>

Possibilités d'exploitations de l'exposition «INTELLIGENCES» (2nd degré)

Mesurer l'intelligence : une brève histoire des tests de QI

La première « échelle métrique de l'intelligence » est inventée en France, par le psychologue Alfred Binet (1857-1911) au début du XX^{ème} siècle à la demande du ministre de l'Instruction publique qui souhaite disposer d'un outil pour détecter les élèves en difficulté scolaire.

Binet va s'associer à un médecin, Théodore Simon, avec qui il va élaborer une échelle psychométrique pour établir un diagnostic des élèves en retard scolaire. L'objectif de Binet est de mettre en place des structures d'accueil permettant un retour rapide des élèves en difficulté dans les classes.

En observant ses filles, Alfred Binet imagine que l'on peut évaluer l'intelligence à partir du raisonnement, de la compréhension et de la mémoire. Il cherche alors à identifier les aptitudes qui sont caractéristiques de chaque tranche d'âge. Face à une image, par exemple, un enfant de 3 ans va énumérer ce qu'il voit, un enfant de 7-8 ans va décrire l'image, tandis qu'un enfant de 10-12 ans va commencer à l'interpréter.

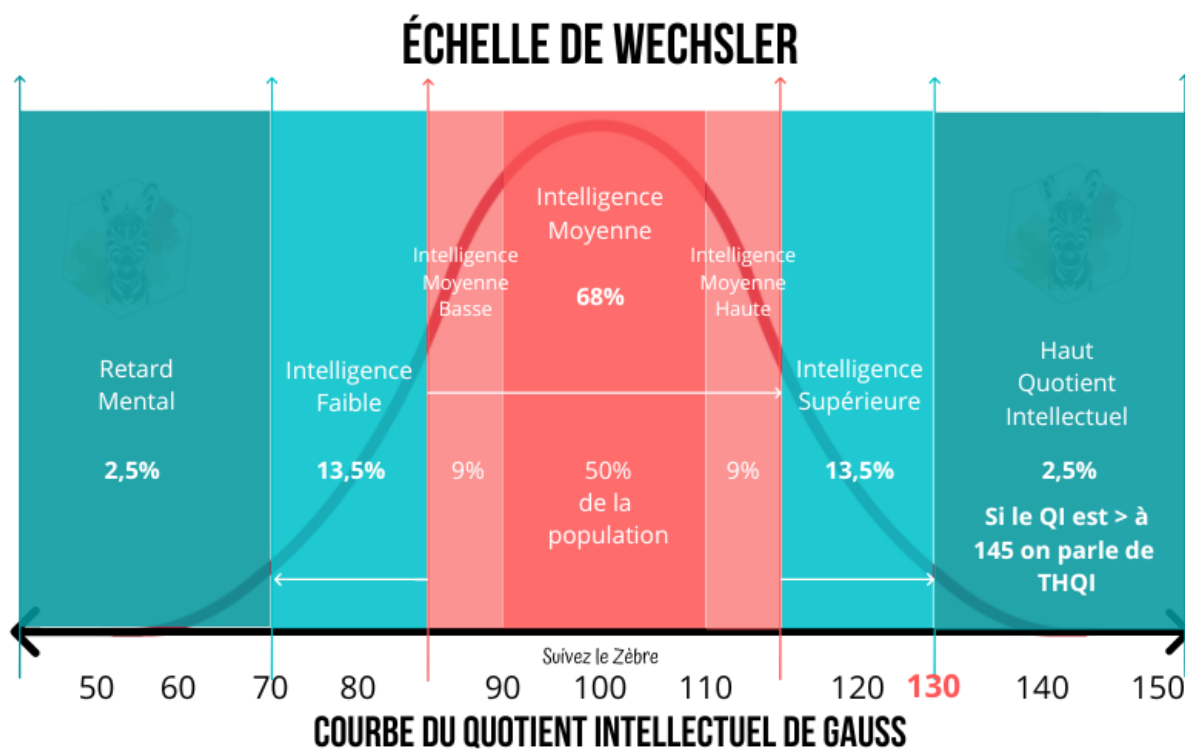
Ce premier test d'intelligence, qui deviendra le premier test de Quotient Intellectuel ou de QI sous l'influence d'un chercheur de l'Université de Stanford, établit un rapport entre l'âge mental de la personne et son âge réel. On multiplie ensuite ce chiffre par 100 pour obtenir le QI. Si un enfant de 10 ans réussit les épreuves d'un enfant de 12 ans, alors il sera en avance et aura un QI de 120 ($12/10*100$).

Le QI évalue ainsi les performances d'un individu par rapport à des individus qui ont le même âge que lui. Le test Stanford-Binet va devenir un test de référence dans les années 1960-1970.

D'autres tests : les tests WAIS et WISC

Le test WAIS (**Wechsler Adult Intelligence Scale**) est le test actuellement le plus utilisé en Europe. Actuellement, ce test est à sa quatrième version. C'est une échelle de mesure permettant d'évaluer le quotient intellectuel des adolescents de plus de 16 ans et des adultes.

L'échelle de Wechsler permet de visualiser le pourcentage de la population par rapport à un quotient intellectuel mesuré.



- QI < à 70 : 2,5% de la population : retard mental, sévère, modéré ou léger, sachant que 0,13% présente un QI inférieur ou égale à 55.
- QI situé entre 70 et 85: 13,5% de la population : intelligence faible.
- QI situé entre 85 et 115: 68% de la population : intelligence moyenne basse, à normale et moyenne haute.
- QI situé entre 115 et 130 : 13,5% de la population : intelligence supérieure.
- QI > 130 de la population HPI : Haut Quotient Intellectuel.

Au-delà de 145 on parle de Très Haut Quotient Intellectuel (0,13% de la population, 0,0025% au-delà de 150 de QI, soit l'équivalent d'un individu sur 5000).

Ce test est réalisé par un psychologue et porte sur l'évaluation de 4 composantes intellectuelles ou indices : compréhension verbale, raisonnement perceptif, mémoire de travail et vitesse de traitement. Chaque indice est noté de 1 à 19.

Le test WISC (Wechsler Intelligence Scale for Children) est destiné aux enfants de 6 à 16 ans. Les thématiques abordées portent sur la compréhension verbale, la vision spatiale, le raisonnement, la mémoire de travail, la vitesse de traitement d'une tâche.

Les résultats obtenus sont comparés aux résultats moyens d'enfants du même âge.

Les limites de l'interprétation des tests de QI

Les différents tests proposés ne mesurent qu'un nombre limité de capacités : capacités verbales, spatiales ou mathématiques. Les compétences artistiques ou créatives ne sont pas ou peu évaluées.

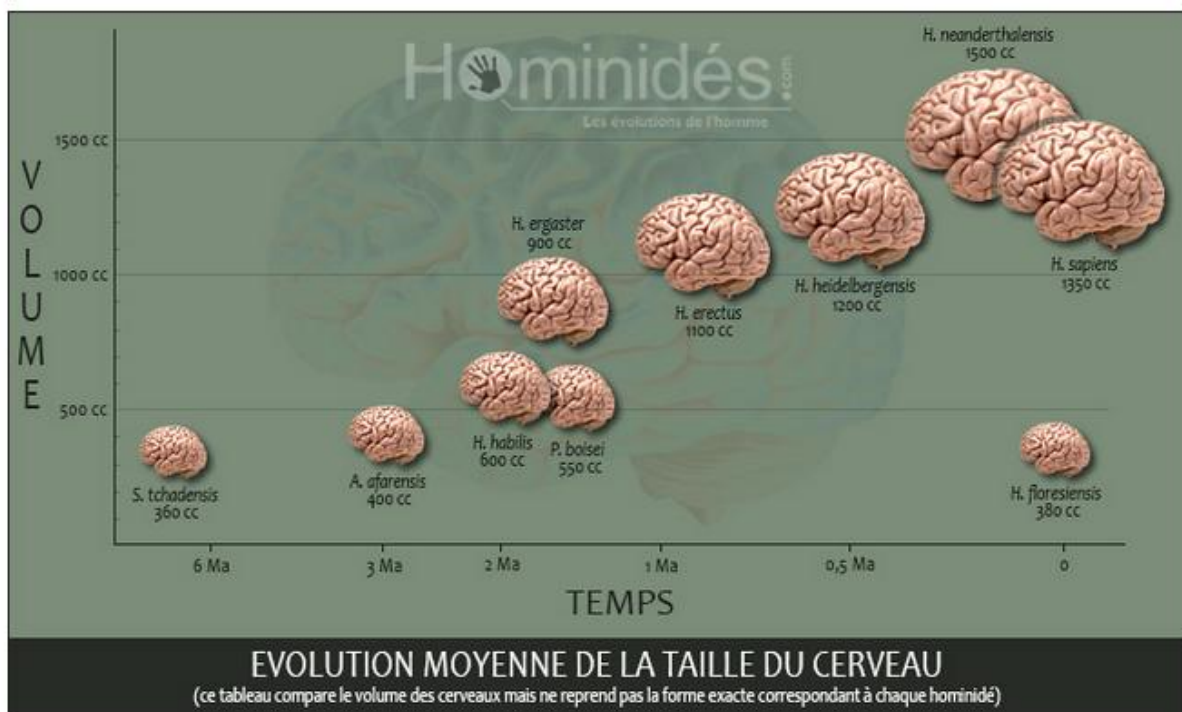
Les résultats obtenus nécessitent une interprétation par un professionnel et doivent tenir compte de l'histoire et du vécu de la personne.

Au cours du XX^{ème} siècle, les résultats aux tests de QI ont augmenté de façon lente et progressive dans les pays industrialisés, en raison notamment de l'alphabétisation et de l'élévation du niveau d'éducation.

Cet accroissement a été baptisé l'effet Flynn et a été observé sur de nombreuses cohortes. Toutefois, depuis les années 2000, les résultats se sont stabilisés et commenceraient même à régresser dans plusieurs pays. Une baisse qui fait aujourd'hui polémique, et soulève notamment la question de savoir s'il est pertinent de comparer le QI d'individus dont le [contexte culturel est parfois radicalement différents](#).

Analyse d'un neuromythe : la taille du cerveau influence l'intelligence

On a longtemps associé la taille du cerveau à l'intelligence. Il est vrai que si on regarde l'évolution du volume cérébral des hominidés, on observe une taille 3 fois plus grande du cerveau d'*Homo sapiens*, comparé à celui de *Sahelanthropus tchadensis* (Toumaï), un hominidé daté de 7 millions d'années.



Taille du cerveau selon les espèces d'hominidés. Schéma Copyright Neekoo pour Hominides.com

<https://www.hominides.com/dossiers/cerveau/>

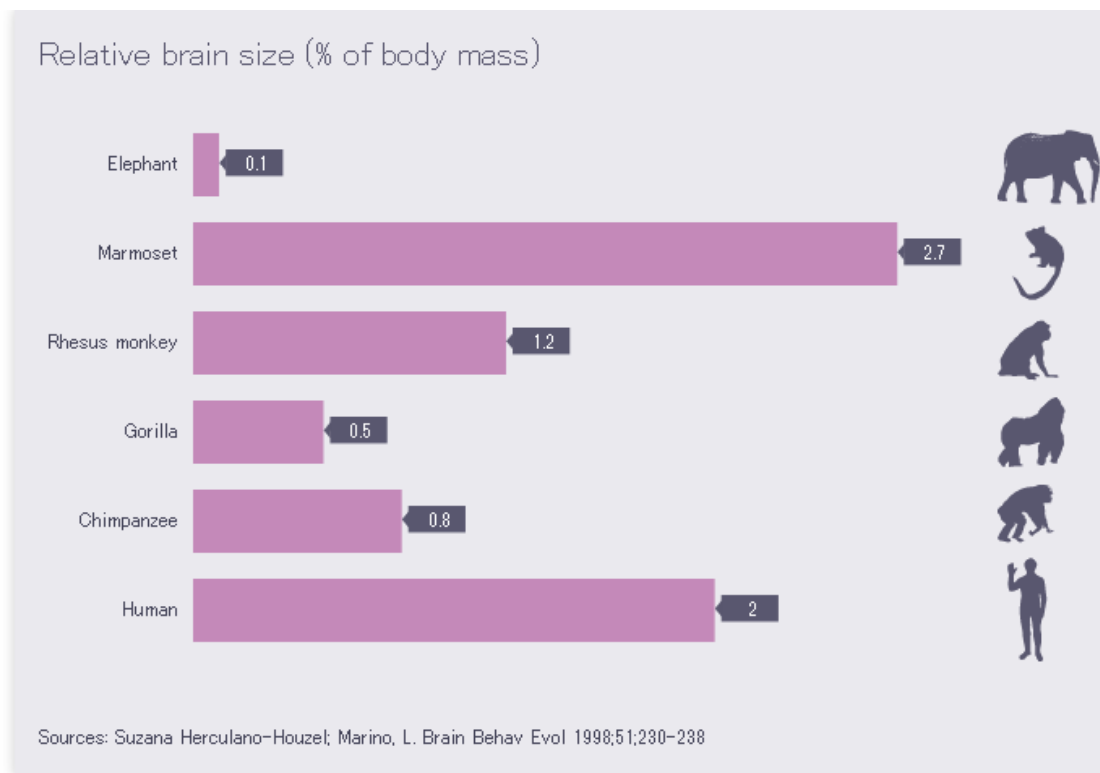
Dans le genre *Homo*, la taille des cerveaux a augmenté de 600 cm³ à 1500 cm³. On a longtemps supposé que l'augmentation de la taille du cerveau a permis l'acquisition de nouvelles capacités : fabrication d'outils, maîtrise du feu.

Or, en 2008, la découverte d'*Homo floresiensis* en Indonésie, a montré l'existence d'un hominidé récent (50 000 ans), de petite taille avec un cerveau de 380 cm³ et capable de fabriquer des outils.

L'idée d'une relation entre la taille du cerveau et les capacités intellectuelles a été mise en avant au XIX^{ème} siècle par des scientifiques comme Paul Broca.

L'étude de l'évolution de la taille des cerveaux chez les hominidés montre une diminution de cette taille chez *Homo sapiens* comparée à celle de l'homme de Néanderthal ou à Cro-Magnon. Cette réduction de volume n'a pas empêché l'acquisition du langage par exemple, qui n'est pas présent chez l'homme de Néanderthal.

Qu'appelle-t-on d'ailleurs « taille du cerveau » ? Doit-on définir cette masse par rapport à une taille absolue ou une taille relative (rapportée à la taille de l'organisme) ? Chez de nombreux animaux, la masse relative décroît quand la masse totale augmente.



Taille relative du cerveau chez six mammifères : rapport de la masse du cerveau sur la masse totale du corps (©Peter Aldhous, Wikimedia).

Pour faciliter la comparaison entre espèces, on utilise le coefficient d'encéphalisation.

L'encéphalisation mesure l'écart entre la taille du cerveau dans une espèce animale et la taille théorique calculée à partir de la taille du reste du corps.

Pour comprendre le calcul de ce coefficient : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Enc%C3%A9phalisation>

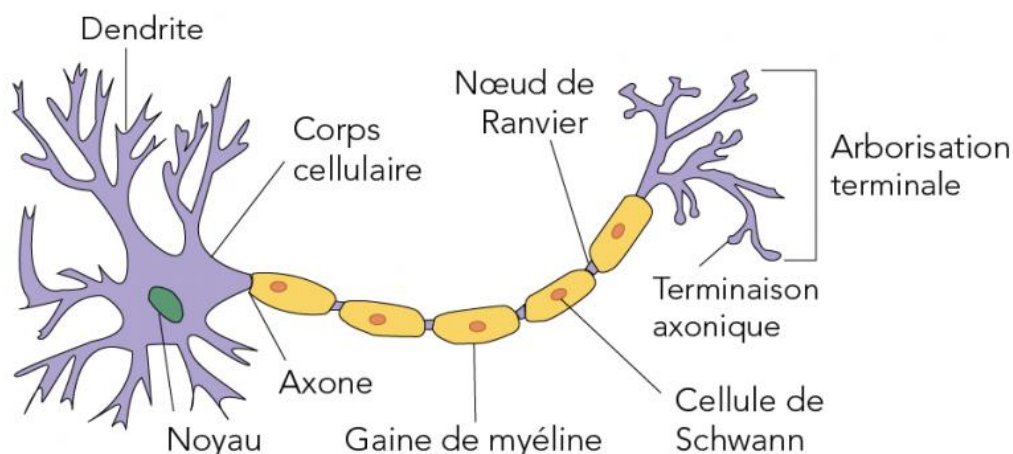
Ce calcul est assez fiable pour les mammifères, mais mal adapté pour les oiseaux qui ont un petit cerveau mais qui peuvent posséder des capacités cognitives développées.

Dans les années 2000, on s'est intéressé à l'organisation des réseaux neuronaux du cortex cérébral et la vitesse de conduction des messages nerveux.

Le nombre de neurones ne va pas être directement responsable des capacités cognitives, mais la vitesse de propagation du message nerveux va constituer un critère important.

La vitesse de propagation du message nerveux dans les neurones dépend à la fois du diamètre de l'axone (plus le diamètre est important plus l'information circule rapidement), mais aussi de la présence de myéline.

La gaine de myéline est une couche isolante entourant les axones des neurones, ces axones sont dits myélinisés. Cette couche s'interrompt à certains endroits de l'axone, appelés *nœuds de Ranvier*, qui sont des portions conductrices. L'influx nerveux doit donc "sauter" de nœuds en nœuds, ce qui accélère considérablement la vitesse de transmission. Ainsi, un neurone avec une gaine de myéline possède une vitesse de propagation qui peut atteindre 120 mètres par seconde, soit plus de 400 km/h ! Tandis qu'un axone "nu", sans myéline, ne transmet plus l'information qu'à une vitesse de 0,5 mètre par seconde.



(Source : Dhp1080 [CC BY-SA 3.0] via [Wikimedia Commons](#)).

L'intelligence de l'homme serait donc moins liée à la taille de son cerveau qu'à la façon dont celui-ci est structuré. En effet, le nombre de neurones corticaux associé à une vitesse de conduction élevée des fibres corticales présente la meilleure corrélation avec l'intelligence. Certes, l'homme n'a pas le plus gros cerveau, que ce soit en valeur absolue ou relative, mais il a un grand nombre de neurones corticaux, une vitesse de conduction des fibres corticales plus élevée et une petite distance entre neurones. Ces caractéristiques seraient probablement à l'origine de sa plus grande capacité de traitement de l'information.

En conclusion, l'intelligence ne peut pas être définie en fonction de la taille du cerveau d'une espèce ni d'un individu.

<https://www.cortex-mag.net/neuromythe-3-la-taille-du-cerveau-influence-lintelligence/>

Qu'appelle-on l'intelligence végétale ?

Les végétaux sont dotés de sensibilité. Ils sont capables de percevoir un signal et d'y répondre de manière adaptée. Cette caractéristique est commune à l'ensemble des êtres vivants.

Ainsi, pour capter un maximum de lumière, les plantes doivent se tenir face au vent avec un feuillage abondant qui peut constituer une prise au vent importante et entraîner une cassure des branches.

La plante est capable de mesurer son exposition aux vents et d'effectuer des mouvements peu visibles pour se maintenir debout.

Ce contrôle postural, correspondant à la proprioception, a été étudié par des chercheurs de l'INRAE du laboratoire de l'UMR de PIAF (Physique et Physiologie Intégrative de l'Arbre en environnement Fluctuant). Ils ont observé que le balancement des plantes avec le vent met en jeu un système précis constitué de cellules contenant des grains d'amidon ou statolithes.

Ces cellules jouent le rôle d'inclinomètres. La position de ces statolithes modifie la distribution d'auxine, une hormone végétale, qui modifie la croissance cellulaire et permet à la plante de se redresser.

Ces chercheurs ont également montré que la perception du vent modifiait la croissance et la forme de la plante.

Lorsque la plante ploie sous le vent, elle réduit sa croissance en hauteur, augmente la croissance de ses tiges et de ses racines et la croissance en diamètre. On qualifie cette adaptation de croissance de **thigmomorphogénèse**. Ces adaptations nécessitent la circulation d'un message basé sur des surpressions hydrauliques dans les vaisseaux conducteurs. Les arbres sont plus trapus. On observe cette adaptation pour les arbres situés en lisière, qui sont plus résistants que des arbres plus protégés

La mise en évidence de l'impact de la thigmomorphogénèse sur le développement de l'arbre a été rendue possible grâce à de nombreuses expérimentations consistant en l'application répétée de flexions contrôlées des tiges pendant des périodes de croissance plus ou moins longues (*Figure n° 1*).



Figure n° 1 : Flexions répétées de tiges de jeunes peupliers en serre simulant l'impact mécanique du vent. L'intensité des flexions est contrôlée par l'utilisation de gabarits spécifiques © B. Niez

On observe une augmentation du diamètre par rapport à un arbre tuteuré

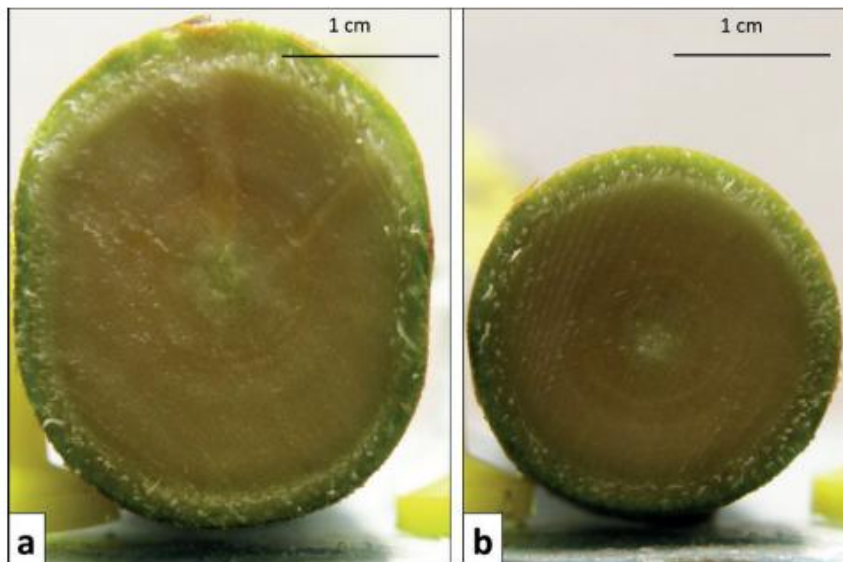


Figure n° 2 : Impact des sollicitations mécaniques sur la croissance en diamètre de l'arbre. a. Section de la tige d'un jeune peuplier sous un vent directionnel. b. Section de tige d'un jeune peuplier tuteuré © B. Niez

<https://www.jardinsdefrance.org/lacclimatation-des-plantes-aux-sollicitations-mecaniques-du-vent-la-thigmomorphogenese/>

Ce mécanisme modifie aussi les propriétés structurelles et fonctionnelles du bois. Le bois de flexion, formé lorsque l'arbre bouge face au vent, est plus dense et plus résistant à la déformation.

L'étude de la thigmomorphogénèse permettra aux scientifiques et aux sylviculteurs d'adapter la gestion des forêts face au réchauffement climatique et à la répétition des tempêtes.

Une conférence intéressante : <https://www.bnf.fr/fr/mediatheque/peut-parler-dintelligence-vegetale>

Pour conclure : l'Espace des sciences en pratique



Espace des sciences

10, cours des Alliés

35 000 RENNES

Tel : 02 23 40 66 40

Fax : 02 23 40 66 41

www.espace-sciences.org

Visites pour les groupes (durée 1h30) :

- mardi, jeudi et vendredi à 9h, 10h30, 14h et 15h30
- mercredi à 10h30

Toute **réservation est obligatoire** et se fait par téléphone au **02 23 40 66 00**

Tarifs groupes : 4 euros par enfant et 5 euros par adulte supplémentaire (gratuité d'un adulte pour 10 élèves)

Pratique !

Un espace pique-nique est proposé sur place. Faire la demande lors de votre réservation (dans la limite des places disponibles)

Une malle est mise à votre disposition pour stocker sacs et vêtements

Pour plus de renseignements :

- www.espace-sciences.org/enseignants/rubrique
- Version itinérante de l'exposition (contact : patrick.lebozec@espace-sciences.org)
- Les **professeurs conseillers-relais de l'Education nationale**
Premier degré : Chloé LAMY chloe.lamy@ac-rennes.fr
Second degré : Didier THIEURMEL didier.thieurmel@ac-rennes.fr