

Colles plus

UE7B :
Santé Société Humanité
Module Santé Publique

ACTUALISATION
Fiche de cours **n°8**

Colles plus
Biomimétisme :
Quelques innovations tirées des plantes

Colles plus

- ★ Notion tombée 1 fois au concours
- ★★ Notion tombée 2 fois au concours
- ★★★ Notion tombée 3 fois ou plus au concours

INTRODUCTION

	<ul style="list-style-type: none">▪ Sélection de nombreux mécanismes par les plantes au cours de leur évolution, avec résolution de problèmes de bioingénierie :<ul style="list-style-type: none">○ Capture de l'énergie solaire possible grâce à l'acquisition des plastes○ Adaptation des plantes aux radiations ultraviolettes○ Adaptation des plantes aux conditions climatiques difficiles :<ul style="list-style-type: none">- Basses et hautes températures, sécheresses, feux, tempêtes
	<ul style="list-style-type: none">▪ Les plantes répondent parfaitement à la notion de biomimétisme par :<ul style="list-style-type: none">○ Copie de forme○ Copie de structure○ Copie de procédé▪ Les plantes sont à l'origine de nombreuses innovations technologiques et permettent :<ul style="list-style-type: none">○ Une optimisation des coûts énergétiques○ Un faible impact environnemental

EXEMPLES À L'ÉCHELLE MACROSCOPIQUE

EXEMPLES À L'ÉCHELLE MACROSCOPIQUE BIOMIMÉTISME DES PLANTES APPLIQUÉ À LA CONSTRUCTION	
	<ul style="list-style-type: none">▪ Mise en place de formes et de structures complexes▪ Économie de matière :<ul style="list-style-type: none">○ Exemple des Pins : la nature n'utilise la matière que là où la résistance est nécessaire, là où le risque de rupture est le plus grand :<ul style="list-style-type: none">- Renforcement de l'arbre à la jonction des branches- Fibres orientées selon le flux des forces en jeu
	<ul style="list-style-type: none">▪ Résolution des problèmes par la matière plutôt que par des formes évoluées
	<ul style="list-style-type: none">▪ Construction à l'époque romaine d'aqueducs avec des arches▪ La structure lacunaire permet :<ul style="list-style-type: none">○ Une diminution du poids○ Une moindre utilisation de matériaux
	<ul style="list-style-type: none">▪ Construction au XVIII^e du phare rouge et blanc d'Eddystone par l'ingénieur John Smeaton :▪ Architecture inspirée des proportions du tronc du Chêne :<ul style="list-style-type: none">○ Tronc plus large à la base et cime légèrement élargie qui offre une bonne résistance au vent

Exemples à l'échelle macroscopique : BIOMIMÉTISME DES PLANTES APPLIQUÉ À LA CONSTRUCTION
LE NÉNUFAR GEANT

	<ul style="list-style-type: none">▪ Est un architecte et jardinier paysagiste britannique du XIX^e●▪ Se procure une bouture de Nénufar géant●, <i>Victoria amazonica</i>, provenant d'Amazonie et dont il réussit la culture en serre :<ul style="list-style-type: none">○ La Reine Victoria d'Angleterre donne son nom au genre de la plante
	<ul style="list-style-type: none">▪ Plante de la famille des Nymphéacées▪ Plante aquatique la plus grande du monde :<ul style="list-style-type: none">○ Feuille pouvant dépasser 3,5 m de diamètre▪ Feuille capable de supporter sans déformation le poids de la fille de Paxton âgée de 4 ans
	<ul style="list-style-type: none">▪ Nervures partant du centre de la feuille, reliées latéralement pour diviser la feuille en compartiments :<ul style="list-style-type: none">○ Structure rigide dont Paxton s'inspire pour construire la serre dans laquelle il protège et cultive son nénufar
	<ul style="list-style-type: none">▪ Plan de l'édifice réalisé par Paxton pour l'exposition universelle de 1851 à Londres▪ Architecture inspirée des feuilles du Nénufar géant :<ul style="list-style-type: none">○ Panneaux de verre en triangle isocèle, inclinés les uns par rapport aux autres○ Réseau de poutres et de piliers en fonte▪ Plus grande couverture de verre de l'époque▪ Bâtiment détruit par un incendie

Exemples à l'échelle macroscopique : BIOMIMÉTISME DES PLANTES APPLIQUÉ À LA CONSTRUCTION
LES POACÉES

	<ul style="list-style-type: none">▪ Aussi appelées Graminées▪ Exemple du Bambou, cultivé en bambouseraie : présence au niveau des entrenoeuds d'une tige creuse ou chaume :<ul style="list-style-type: none">○ Avec une partie externe rigide et une partie interne tendre :<ul style="list-style-type: none">- Les éléments rigides peuvent s'écartier en cas de pression pour apporter de la flexibilité- Les entrenoeuds favorisent la résistance et la flexibilité des tiges○ Le fait que la tige soit creuse permet de réduire le poids
	<ul style="list-style-type: none">▪ Construction de tours creuses avec une armature en acier sur le pourtour selon le modèle du Bambou :<ul style="list-style-type: none">○ Tours de communication○ Gratte-ciels comme le Taipei 101 :<ul style="list-style-type: none">- Hauteur de 509 mètres- Structure avec des barres transversales au niveau de noeuds permettant à la tour d'osciller avec une amplitude de 7 m (propriétés antisismiques)

EXEMPLES À L'ÉCHELLE MACROSCOPIQUE
ANÉMOCHORIE

	<ul style="list-style-type: none">■ Unité de dispersion des végétaux :<ul style="list-style-type: none">○ Graine, fruit, fructification, partie de plante ou plante entière
	<ul style="list-style-type: none">■ Dispersion de la diaspora
	<ul style="list-style-type: none">■ Dispersion de la diaspora par le vent
	<ul style="list-style-type: none">■ Fruit sec indéhiscent ne renfermant qu'une graine
	<ul style="list-style-type: none">■ Les fruits peuvent être munis d'une aigrette de soies :<ul style="list-style-type: none">○ Pappus : nom de l'akène muni d'une aigrette de soies chez les Astéracées■ Exemples d'Astéracées (aussi appelées Composées) à pappus :<ul style="list-style-type: none">○ Pissenlit : pappus à soies simples situé au bout d'un long bec rigide○ Salsifi : pappus à soies plumeuses situé au bout d'un long bec rigide○ Meilleure stabilité et meilleure portance du vol des fruits grâce au pappus<ul style="list-style-type: none">- Centre de gravité éloigné de la surface portante augmente la stabilité- Ouverture du pappus en cône renversé freine la descente- Soies longuement ramifiées du salsifi augmentent la stabilité
	<ul style="list-style-type: none">■ Les graines peuvent être munies d'ailes■ Exemple des Pinacées :<ul style="list-style-type: none">○ Graines disposées par deux à la surface des écailles des cônes○ Ailes provenant de la délamination de l'écailler○ Graines ailées tombant en vrille
	<ul style="list-style-type: none">■ Les fruits peuvent être munis d'ailes :<ul style="list-style-type: none">○ Samare : akène muni d'une partie aplatie○ Disamare : association de deux samares■ Exemples d'espèces à samares : l'Orme (genre <i>Ulmus</i>), le Frêne (genre <i>Fraxinus</i>)■ Exemple d'espèce à disamaras : l'Érable (genre <i>Acer</i>)

Colles Plus

Exemples à l'échelle macroscopique : ANÉMOCHORIE
EXEMPLES D'APPLICATION

	<ul style="list-style-type: none">▪ Le pappus des Astéracées est un bon modèle pour l'amélioration des parachutes
	<ul style="list-style-type: none">▪ Les samares de l'Érable sont un bon modèle pour la conception d'hélices car elles permettent :<ul style="list-style-type: none">○ Une optimisation de la prise au vent○ Une diminution de la résistance○ Une diminution des turbulences<p>Les samares dissymétriques de l'Érable ont été étudiées par l'inventeur anglais Sir George Cayley (fin XVIII^e/début XIX^e) pour en faire des modèles d'hélice</p><ul style="list-style-type: none">▪ Des études récentes ont montré la formation d'un vortex au-dessus des ailes atténuant l'effet de gravité
	<ul style="list-style-type: none">▪ Les samares des Érables sont un bon modèle pour la fabrication de ventilateur de plafond à :<ul style="list-style-type: none">○ Débit d'air élevé○ Faibles turbulences○ Faible bruit○ Faible consommation énergétique

EXEMPLES À L'ÉCHELLE MACROSCOPIQUE ZOOCHORIE

	<ul style="list-style-type: none">■ Dispersion des diaspores par les animaux :<ul style="list-style-type: none">○ Graines et fruits recherchés par l'animal pour être consommés○ Fruits s'accrochant aux poils et aux plumes des animaux
	<ul style="list-style-type: none">■ Est un ingénieur électricien suisse■ Remarque suite à une promenade en 1941 que ses vêtements et la fourrure de son chien sont couverts de capitules de Bardane  :<ul style="list-style-type: none">○ Les capitules sont des inflorescences caractéristiques des Astéracées■ Observe au microscope la présence de crochets déformables :<ul style="list-style-type: none">○ Les crochets se prennent dans les poils et les mailles du tissu■ Puis reviennent à leur forme initiale une fois arrachés du support■ A l'idée d'une fermeture rapide et amovible pour vêtements :<ul style="list-style-type: none">○ Il met au point après plusieurs essais un système de fixation à boucles et crochets
	<ul style="list-style-type: none">■ George de Mestral nomme son invention Velcro  en 1948 :<ul style="list-style-type: none">○ Contraction de « velours » et de « crochet » ■ La mécanisation du Velcro a nécessité une dizaine d'années :<ul style="list-style-type: none">○ Étude du nombre et de la taille des boucles et des crochets○ Étude du type de matériaux■ Le Velcro est communément appelé scratch  :<ul style="list-style-type: none">○ Il a été popularisé par les cosmonautes, les skieurs puis les enfants○ Son bruit  dissuade les pickpockets○ Il existe une version silencieuse pour les militaires

EXEMPLES À L'ÉCHELLE MACROSCOPIQUE CHANGEMENT DE FORME EN FONCTION DE L'HUMIDITÉ

	<ul style="list-style-type: none">■ Les écailles se courbent vers l'extérieur pour libérer par temps sec des graines ailées :<ul style="list-style-type: none">○ Les écailles sont formées de deux épaisseurs avec des fibres orientées en directions opposées■ Exemple : le Pin sylvestre, <i>Pinus sylvestris</i>
	<ul style="list-style-type: none">■ Fabrication de vêtements qui respirent quand il fait chaud  :<ul style="list-style-type: none">○ L'humidité générée par la sueur fait gonfler le tissu○ Les rabats de tissus se plient vers l'extérieur sous l'effet de l'humidité○ L'air pénètre par les ouvertures ainsi formées pour rafraîchir le vêtement
	<ul style="list-style-type: none">■ Fabrication de bouches d'aération qui :<ul style="list-style-type: none">○ S'ouvrent par temps sec○ Se ferment par temps humide

EXEMPLES À L'ÉCHELLE MACROSCOPIQUE PLIAGE DES PLANTES

	<ul style="list-style-type: none">■ Feuille repliée sur elle-même dans le bourgeon et prête à être dépliée■ Présence sur la feuille de nervures marquées :<ul style="list-style-type: none">○ Elles correspondent à des lignes de pliage○ Elles sont alignées en V autour de la nervure centrale■ Feuille qui se déploie en largeur et en longueur hors du bourgeon
	<ul style="list-style-type: none">■ Conception de voiles et de panneaux solaires ☀ pour alimenter les satellites■ Possible conception de cartes géographiques pliables

EXEMPLES À L'ÉCHELLE MACROSCOPIQUE SPIRALE DE FIBONACCI

	<ul style="list-style-type: none">■ Mathématicien de la fin XII^e/début XIII^e■ Est à l'origine de la suite numérique qui porte son nom
	<ul style="list-style-type: none">■ Suite d'entiers commençant par 0 et 1 où chaque terme est la somme des deux termes qui le précédent :<ul style="list-style-type: none">○ 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, etc.■ Suite liée au nombre d'or■ Expression mathématique de la spirale de Fibonacci très souvent rencontrée dans la nature
	<ul style="list-style-type: none">■ Frondes ou jeunes feuilles des fougères■ Disposition des écailles des Pommes de Pin :<ul style="list-style-type: none">○ Réseau d'écailles à 5, 8 ou 13 lignes parallèles■ Forme des vrilles, disposition feuilles sous tige, flore dans arborescence, chez ananas
	<ul style="list-style-type: none">■ Fabrication de pommeaux de douche à effet de pluie avec des gicleurs en forme de spirale permettant :<ul style="list-style-type: none">○ Un arrosage plus enveloppant ☀○ Une économie d'eau jusqu'à 30 % ☀

EXEMPLES À L'ÉCHELLE MICROSCOPIQUE

EXEMPLES À L'ÉCHELLE MICROSCOPIQUE EFFET LOTUS	
	<ul style="list-style-type: none">▪ Glissement de l'eau sur les feuilles de certaines espèces
	<ul style="list-style-type: none">▪ Dans les temps anciens, l'eau de rosée était récupérée sur une plante à feuilles poilues, l'Alchémille, pour préparer la pierre philosophale▪ La pierre philosophale était hypothétiquement capable de :<ul style="list-style-type: none">○ Changer le plomb en argent ou en or○ Fournir la panacée ou thériaque pour guérir les maladies○ Fournir l'élixir de longue vie
	<ul style="list-style-type: none">▪ Laitue d'eau :plante à feuilles poilues▪ Les Capucines : genre <i>Tropaeolum</i>, plantes à feuilles glabres▪ Les Lotus ☺ : genre <i>Nelumbo</i>, plantes à feuilles glabres

Colles plus

Colles plus

Exemples à l'échelle microscopique : EFFET LOTUS
PRINCIPE DE L'EFFET LOTUS

	<ul style="list-style-type: none">▪ Par l'équipe allemande de Wilhelm Barthlott dès 1977 grâce à la microscopie électronique à balayage :<ul style="list-style-type: none">○ Présence d'une rugosité à la surface des feuilles
	<ul style="list-style-type: none">▪ Défini par l'angle de contact avec une goutte d'eau▪ Surface hydrophile :<ul style="list-style-type: none">○ Angle de contact inférieur à 90°○ Surface de contact élevée entre l'eau et le matériau▪ Surface hydrophobe :<ul style="list-style-type: none">○ Angle de contact entre 90° et 150°○ Surface de contact plus faible que celle d'une surface hydrophile▪ Surface superhydrophobe :<ul style="list-style-type: none">○ Angle de contact supérieur à 150°○ Goutte d'eau sphérique qui rebondit sur la surface
	<ul style="list-style-type: none">▪ Double rugosité hydrophobe de la surface foliaire :<ul style="list-style-type: none">○ Rugosité à l'échelle micrométrique : papilles de 10 à 20 µm○ Rugosité à l'échelle nanométrique : cristaux de cire épicuticulaire de 0,2 à 1 µm▪ Surface superhydrophobe liée à la double rugosité :<ul style="list-style-type: none">○ Angle de contact d'environ 170°○ Surface de contact très réduite entre la feuille et l'eau : l'eau ne peut pas pénétrer dans les interstices de la surface de la feuille
	<ul style="list-style-type: none">▪ En s'écoulant sur la feuille, l'eau entraîne les poussières et les particules :<ul style="list-style-type: none">○ Capacités autonettoyantes▪ L'effet Lotus évite la prolifération des champignons, des algues, des salissures :<ul style="list-style-type: none">○ Capacités antiseptiques : Lotus symbole de pureté car il émerge immaculé des eaux boueuses

Exemples à l'échelle microscopique : EFFET LOTUS APPLICATIONS ET LIMITES DE L'EFFET LOTUS	
	<ul style="list-style-type: none">■ Fabrication de peintures et de laques contenant des particules qui, après séchage, donnent des revêtements de surface nanorugueux■ Création de rugosité de surface par laser<ul style="list-style-type: none">1 - Fines ondulations espacées de 600 à 700 nm2 - Piliers perpendiculaires de 10 µm
	<ul style="list-style-type: none">■ Tapis, bâches, voiles, vêtements imperméables, parapluies
	<ul style="list-style-type: none">■ Parois de douche, fenêtres, ustensiles culinaires■ Éviter la formation de glaces sur antennes, facilitation déneigement, éviter contamination avec faible quantité d'eau, utilisation de micro-canaux à usage unique pour faire circuler un liquide en médecine
	<ul style="list-style-type: none">■ Vieillissement des surfaces :<ul style="list-style-type: none">○ Durée de vie limitée des surfaces à effet Lotus■ Verre plus ou moins opaque et irisé :<ul style="list-style-type: none">○ Impossibilité de fabriquer des pare-brises à effet Lotus par exemple■ Pas de protection contre les graffitis :<ul style="list-style-type: none">○ La capacité autonettoyante ne fonctionne pas pour des substances fortement adhérentes comme les huiles, les encres, les vernis
	<ul style="list-style-type: none">■ Fabrication de surfaces hydrophobes et oléophobes :<ul style="list-style-type: none">○ Protection possible contre les graffitis○ Mais surface sensible à l'abrasion et peu stable

EXEMPLES À L'ÉCHELLE MICROSCOPIQUE EFFET ANTIFOULING	
	<ul style="list-style-type: none">■ Encrassement d'une surface par divers dépôts :<ul style="list-style-type: none">○ Corrosion, cristallisation, détritus, glace
	<ul style="list-style-type: none">■ Pouvant aller jusqu'à 30 cm :<ul style="list-style-type: none">○ Dépôt d'organismes marins :<ul style="list-style-type: none">- Mollusques, crustacées, algues, organismes unicellulaires■ À l'origine d'un freinage du bateau■ À l'origine d'une augmentation de la consommation de carburant
	<ul style="list-style-type: none">■ Peinture relarguant en continu des composés toxiques pour empêcher la fixation des micro-organismes :<ul style="list-style-type: none">○ Solution actuellement mise en place mais peu écologique
	<ul style="list-style-type: none">■ Essais récents en Allemagne pour reproduire la structure des poils des graines du Palmier dont les mouvements empêchent la fixation des coloniseurs

EXEMPLES À L'ÉCHELLE MICROSCOPIQUE
EFFET SALVINIA

	<ul style="list-style-type: none">■ Fougères aquatiques hydrophobes flottantes munies de poils retenant l'air■ En les plongeant dans l'eau :<ul style="list-style-type: none">○ Certaines espèces perdent les bulles d'air○ D'autres espèces comme <i>Salvinia molesta</i> Ⓡ conservent la couche d'air
	<ul style="list-style-type: none">■ Par l'équipe de Wilhelm Barthlott Ⓡ en 2009
	<ul style="list-style-type: none">■ Feuille à surface hydrophobe■ Feuille recouverte de cristaux de cire hydrophobes qui procure une super hydrophobie Ⓡ■ Poils fins■ Poils ramifiés : 4 branches reliées par leurs pointes■ Poils souples et élastiques : permettant une compression de la couche d'air■ Ilots hydrophiles à la pointe des poils (absence de cire à la pointe) :<ul style="list-style-type: none">○ Les îlots agissent comme des points d'ancrage pour l'eau, ce qui stabilise la couche d'air emprisonnée dans les poils et empêche la formation de bulles d'air qui s'échapperait
	<ul style="list-style-type: none">■ Recouvrement de la coque par une surface bioinspirée des Salvinias retenant l'air de façon permanente :<ul style="list-style-type: none">○ Surface obtenue par impression laser○ Réduction de la force de frottement, car la viscosité de l'air est plus faible que celle de l'eau, permettant une économie de carburant○ Effet antifouling possible

Colles Plus

AUTRES EXEMPLES DE BIOMIMÉTISME PAR LES PLANTES

AUTRES EXEMPLES DE BIOMIMÉTISME PAR LES PLANTES
EXEMPLES À L'ÉCHELLE MOLÉCULAIRE

	<ul style="list-style-type: none">■ Fabrication d'un catalyseur à base de nickel bioinspiré d'une enzyme :<ul style="list-style-type: none">○ Des enzymes hydrogénases présentes chez des microalgues transforment l'eau en hydrogène○ Le nickel a des propriétés similaires à l'enzyme○ Des molécules de synthèse contenant du nickel et permettant l'électrolyse de l'eau sont greffées sur des radicaux de carbone pour faciliter le transfert des électrons
	<ul style="list-style-type: none">■ De nombreux travaux en cours mais pas encore d'application efficace
	<ul style="list-style-type: none">■ Fabrication habituelle du verre par l'Homme à partir de sable à plus de 1000 °C■ Fabrication de verre à température ambiante par les diatomées :<ul style="list-style-type: none">○ Les diatomées sont des algues microscopiques qui utilisent la silice dissoute de l'eau pour former une carapace de silice pure SiO₂○ On parle de biominéralisation■ Procédé sol-gel :<ul style="list-style-type: none">○ Procédé industriel de solution-gélification○ Chimie douce bioinspirée des diatomées permettant la synthèse de verres, céramiques et composés hybrides organo-minéraux :<ul style="list-style-type: none">- Sans solvant agressif- Sans chauffage à haute température- À température ambiante dans certains cas○ Applications pour la synthèse de films minces aux propriétés anticorrosion, anti-UV, antirayures, antalisantes pour les verres de lunettes, rétroviseurs, vitrages de bâtiments
	<ul style="list-style-type: none">■ Approche classique : rétrosynthèse :<ul style="list-style-type: none">○ Découpage de la molécule complexe en précurseurs plus simples○ Puis synthèse de la molécule de départ à partir des précurseurs■ Approche bioinspirée : synthèse biomimétique :<ul style="list-style-type: none">○ Synthèse s'inspirant des voies de biosynthèse naturelle

Colles

AUTRES EXEMPLES DE BIOMIMÉTISME PAR LES PLANTES
EXEMPLES À L'ÉCHELLE D'UN ÉCOSYSTÈME

	<ul style="list-style-type: none">■ Observer et imiter le fonctionnement des écosystèmes naturels pour concevoir des systèmes agricoles et aquacoles durables :<ul style="list-style-type: none">○ On ne cherche pas l'innovation technologique mais à s'inspirer de la nature
	<ul style="list-style-type: none">■ Rotation des cultures■ Cultures associées : plusieurs espèces dans une même parcelle■ Association de plusieurs espèces : par exemple en aquaculture■ Polyculture associée à l'élevage■ Agroforesterie■ Couvert végétal permanent : pas de labour des champs■ Mise en place de zones à haute biodiversité : haies■ Reconstitution de réseaux trophiques■ Épuration de l'eau par les algues
	<ul style="list-style-type: none">■ Fonctionnement en boucle fermée■ Minimisation des intrants et des déchets■ Connexion des productions voisines entre elles :<ul style="list-style-type: none">○ Production de protéines végétales à côté d'une zone d'élevage■ Augmentation de la quantité et de la qualité des productions

Autres exemples de biomimétisme par les plantes : EXEMPLES À L'ÉCHELLE D'UN ÉCOSYSTÈME
LA PERMACULTURE, UN EXEMPLE D'ÉCOMIMÉTISME

	<ul style="list-style-type: none">■ Respect de la nature, de l'Homme, des générations futures■ Redistribution des surplus
	<ul style="list-style-type: none">■ Les mauvaises herbes ne sont pas « mauvaises »■ Les nuisibles sont « utiles »■ Les maladies sont considérées comme indispensables à la pérennité des systèmes
	<ul style="list-style-type: none">■ Économie en énergie fossile■ Économie en travail manuel et mécanique■ Préservation d'un maximum de place pour la nature sauvage
	<ul style="list-style-type: none">■ Jardins, fermes, entreprises, potagers urbains, villes■ Fonctionnement idéal pour des exploitations de petite taille :<ul style="list-style-type: none">○ Mécanisation difficilement envisageable
	<ul style="list-style-type: none">■ Association de 3 espèces végétales mutuellement aidantes :<ul style="list-style-type: none">○ Le Haricot fertilise le sol○ Le Maïs sert de tuteur au Haricot○ Les feuilles de Courge couvrent le sol pour maintenir l'humidité

Tableau de remplacement **page 12 : DISTRIBUTION PAPIER**

AUTRES EXEMPLES DE BIOMIMÉTISME PAR LES PLANTES EXEMPLES À L'ÉCHELLE MOLÉCULAIRE	
Catalyseur bioinspiré	<ul style="list-style-type: none">▪ Fabrication d'un catalyseur à base de nickel bioinspiré d'une enzyme :<ul style="list-style-type: none">○ Des enzymes hydrogénases présentes chez des microalgues transforment l'eau en hydrogène○ Le nickel a des propriétés similaires à l'enzyme○ Des molécules de synthèse contenant du nickel et permettant l'électrolyse de l'eau, avec séparation en oxygène et hydrogène, sont greffées sur des nanotubes de carbone pour faciliter le transfert des électrons
Photosynthèse artificielle	<ul style="list-style-type: none">▪ Cellules photovoltaïques<ul style="list-style-type: none">○ Sous rayonnement solaire, électrons fournis pour oxyder eau à l'anode et réduire le gaz carbonique à la cathode pour former oxygène et absorber gaz carbonique qui formera des hydrocarbones○ Rendements variables mais parfois un peu supérieur à la photosynthèse naturelle▪ Problématique : essais avec matériaux très cher<ul style="list-style-type: none">○ En 2019, travaux montrant que l'utilisation du cuivre en multicouches au niveau de la cathode permettait de baisser les coûts<ul style="list-style-type: none">- Obtention oxygène et mélange d'hydrocarbones- Problème : essais effectués en conditions très enrichies en CO₂ très supérieures aux 400 ppm de l'atmosphère▪ Essais poursuivis
Production de verre	<ul style="list-style-type: none">▪ Fabrication habituelle du verre par l'Homme à partir de sable à plus de 1000 °C▪ Fabrication de verre à température ambiante par les diatomées :<ul style="list-style-type: none">○ Les diatomées sont des algues microscopiques qui utilisent la silice dissoute de l'eau pour former une carapace de silice pure SiO₂○ On parle de biominéralisation▪ Procédé sol-gel :<ul style="list-style-type: none">○ Procédé industriel de solution-géification○ Chimie douce bioinspirée des diatomées permettant la synthèse de verres, céramiques et composés hybrides organo-minéraux :<ul style="list-style-type: none">- Sans solvant agressif- Sans chauffage à haute température- À température ambiante dans certains cas○ Applications pour la synthèse de films minces aux propriétés anticorrosion, anti-UV, antirayures, antalisantes pour les verres de lunettes, rétroviseurs, vitrages de bâtiments
Synthèse chimique d'une molécule d'origine végétale	<ul style="list-style-type: none">▪ Approche classique : rétrosynthèse :<ul style="list-style-type: none">○ Découpage de la molécule complexe en précurseurs plus simples○ Puis synthèse de la molécule de départ à partir des précurseurs▪ Approche bioinspirée : synthèse biomimétique :<ul style="list-style-type: none">○ Synthèse s'inspirant des voies de biosynthèse naturelle