

Nutrition carbonée des plantes vertes

I Généralités

Les plantes vertes sont des végétaux, à ce titre sont des êtres vivants. L'unité de structure et de fonction des plantes vertes est la cellule. Il y a quelques différences entre la cellule végétale et animale. Il y a des éléments qui existent la plante verte : présence d'une paroi squelettique, d'une vacuole et de plastes, qui n'existent que chez les végétaux.

D'un point de vue, composition chimique on va retrouver comme chez les animaux de l'eau, des sels minéraux et des substances organiques carbonées. Ces composés organiques ont la particularité d'être constamment renouvelé par un jeu de synthèse-dégradation et donc les végétaux verts comme les autres êtres vivants sont des systèmes ouverts qui échangent de la matière et de l'énergie avec leur environnement pour fonctionner, ils ont besoin de s'approvisionner en eau, en sels minéraux, en carbone et en azote. Et pour que chaque cellule fonctionne, il faut une source d'énergie. Selon la source d'énergie utilisée et la nature des besoins des êtres vivants, on distingue deux catégories parmi ces êtres vivants qui sont :

- Les hétérotrophes (animaux) : êtres vivants qui sont incapables de fabriquer des matières organiques à partir d'éléments minéraux, ils sont tributaires des matières organiques fabriquées par d'autres êtres vivants.
- Les autotrophes : capables de fabriquer eux-mêmes leur matière organique à partir des seuls éléments minéraux, il leur faut utiliser une énergie extérieure : soit ils utilisent de l'énergie chimique → chimio autotrophe, soit ils utilisent de l'énergie lumineuse → photo autotrophe.

Document 1/28

Métabolisme d'un organisme et donc d'une cellule est constitué de deux catégories de réaction :

- l'anabolisme : ensemble de réaction chimique permettant la synthèse de substances grâce à des réductions consommant de l'énergie chimique = endergonique.

- Le catabolisme : ensemble de réactions chimiques se traduisant par la destruction de substance organique grâce à des oxydations libérant de l'énergie (énergie chimique, chaleur, travail) = exergonique

Document 2

Il existe des cycles des éléments. L'étude des relations entre les êtres vivants montre l'existence de cycles des éléments chimiques à la surface du globe. Parmi ceux-ci, celui du carbone et de l'oxygène sont interdépendants, puisque la fixation de CO_2 par les autotrophes pour fabriquer des matières organiques se traduit par une libération d'oxygène et que la consommation d'eau par les hétérotrophes se traduit par une consommation d'oxygène et une libération de CO_2 . Il existe une deuxième dépendance des hétérotrophes vis-à-vis des photos autotrophes par rapport à l'oxygène.

Dans le système, il existe des interactions entre tous les éléments du globe ce sont des réseaux trophiques. Tous les végétaux sont à la base de tous les réseaux trophiques et sont considérés comme des producteurs, tous les

autres êtres vivant en sont dépendant et sont considéré comme des consommateurs et selon leur place dans les réseaux seront des consommateurs de premier, deuxième ...ordre.

Equation globale de la photosynthèse :

Document3

Le carbone trouvé dans les matières organique provient du gaz carbonique ceci a été établi définitivement, lorsque l'on a pu utiliser du CO_2 dont le carbone été parqué radioactivement.

Réaction (1) : d'où provenait l' O_2 libéré :

Deux possibilités :

-ou l' O_2 provient du CO_2 ou il provient de l'eau.

La preuve définitive de l'origine de l'oxygène a été apportée par l'utilisation d'oxygène marqué dans les enceintes expérimentales d'études.

On utilisait du CO_2 dont l' O_2 est marqué ou de l'eau dont l' O_2 est marqué. Dans le cas du CO_2^* (CO_2 marqués en O_2) on ne trouve jamais d'oxygène radioactif en réponse, par contre dans le cas de l'eau marqué on obtient certaine quantité d'oxygène marqué. Donc l'oxygène vient de l'eau pour obtenir une molécule d'oxygène il faut deux molécules d'eau on peut alors décomposer la réaction photosynthétique en deux réactions, ces réactions sont les 4 et 5 du document.

Si on considère ces deux réactions comme un couple redox capable d'interagir, on peut alors écrire :

Chaque couple est caractérisé par son potentiel redox standard. Le transfert des électrons ne pouvant se faire que dans un sens croissant des potentiels, pour que ce transfert soit possible dans le sens contraire au sens habituel il faut apporter de l'énergie, cette énergie est apportée par la lumière. L'équation est alors complète et permet de prendre en compte tous les éléments intervenant dans la réaction

II les pigments chlorophylliens

Document 4

1- Extraction

Par filtration on obtient une solution de pigments

2- Séparation

Chromatographie sur papier : permet de séparer au moins quatre pigments : xanthophylles, carotènes, ...

3- Propriétés

On peut d'abord faire une étude sur la solution brute. Ensuite étant donné qu'on les a séparés, en coupant le papier on va se retrouver avec 4 fragments de la chromatographie. Si on prend ce fragment, le pigment va résolu, ce qui permet d'obtenir une solution de xanthophylle, une de chlorophylle et une de carotène.

Analyseur avec capteur informatique ([document6/28](#)). Ce genre de travail permet d'établir pour toutes les plantes que l'on veut étudier, des spectres d'absorption de leur pigment en totalité ou pour chacune des catégories de pigment. D'une manière générale, les plantes vertes absorbent fortement les radiations rouges et radiation bleu. L'absorption la plus faible dans le jaune est très faible voir nulle dans le vert.

L'absorption par les chlorophylles de radiation lumineuse se traduit pour ces molécules par un changement d'état. On dit que les molécules passent de l'état fondamental à l'état excité. L'état fondamentale est caractérisé par une apparition d'électron sur des orbitales de faibles énergies. L'excitation par les photons se traduit par un changement d'orbitale pour un électron ce qui fait passer la molécule à l'état excité.

De manière générale, cet état excité n'est pas naturelle, alors quand la molécule est existée, la tendance est de retourné à son état fondamental. Son retour à l'état fondamental se fait selon 3 chemins possibles :

- en émettant un rayonnement lumineux dit de fluorescence (représenté par le premier rectangle)

- une chlorophylle existée retourne à son état normal en transmettant de l'énergie à une chlorophylle voisine → transfert par résonnance.

- la chlorophylle perd un électron, cet électron se retrouve or du champ. C'est cet électron qui va être fondamentale cet énergie sous forme d'électron va être à la base de s réaction photochimique. Dans le cas d'une session d'électron par la chlorophylle il faudra nécessairement un mécanisme pour remplacer un électron perdu, pour que cette chlorophylle puisse à nouveau être existée et revenir à la taille départ.

Composition :

([Document 8](#)) les chlorophylles sont constituée par une association d'une grande chaine de phytol et d'un noyau tétrapyrolique reliés entre eux par un Mg. La seule différence entre la chlorophylleA et B est lié à un substituant différent sur le pyrol2 : le CH₃ pour la chloroA et CHO pour la B

Les caroténoïdes sont des molécules de 40C, formé de 8J isoprène possédant des extrémités cyclisé. Les xanthophylles sont des caroténoïdes transformés.

Localisation :

Dans les végétaux verts, les pigments chlorophylliens sont localisés dans les chloroplastes qui sont donc des ultrastructures cellulaires à double membrane externe. Présence des thylacoides : petit sac.

Double membrane avec un espace intermembranaire. A l'intérieur duquel on trouve les amas de thylacoïdes → les grana. Dans le stroma, on trouve des réserves d'amidon, des gouttelettes lipidiques, et on y trouve aussi des ribosomes et de l'ADN à l'intérieur qui est de l'ADN chloroplastique et il permet la synthèse de certaine protéine du chloroplaste.

III Mesures et variations

1- Problème

Bilan de la photosynthèse, on constate que le CO₂ absorbé, l'O₂ dégagé et les MO formés sont en quantité équimolaires, théoriquement on peut donc alors mesurer quantitativement la photosynthèse en mesurant l'un de ces paramètres :

-(CH₂O) formé en utilisant du CO₂ dont le carbone est radioactif, c'est une technique très lourde donc très coûteuse qui a une impossibilité de faire de la cinétique car on est obligé de détruire l'échantillon à chaque fois.

-évaluer la prise de CO₂, techniquement réalisable mais la concentration en CO₂ de l'air est très faible (environ 0,035%)

-évaluer le dégagement d'O₂ c'est la méthode utilisée car très pratique, qu'il y a une forte concentration d'O₂ air et O₂ se dissout très bien dans l'eau

Méthode

- Sur plantes entières

Consiste à mesurer de la concentration en O₂ et en CO₂ à l'entrée et à la sortie de l'enceinte de la plante. Dans les conditions expérimentales, les modifications de l'air sont liées à l'activité de la plante. Dans les conditions expérimentales on aura un bilan de l'activité de la plante (respiration/photosynthèse)

RQ : pour établir les échanges réels de la plante, il faut faire les mêmes mesures à l'obscurité, ce qui va permettre d'étudier ses échanges gazeux respiratoires c'est-à-dire sa consommation d'O₂ et sa production en CO₂.

Pour une plante verte quel qu'elle soit si on veut étudier ces échanges phototétique on commence à étudier ces échange gazeux respiratoires dans l'obscurité puis à la lumière. Les mesures obtenues à la lumière sont des mesures bilans rendant compte à la fois de la photosynthèse réelle auquel il faut ajouter les échanges respiratoires pour connaître la photosynthèse réelle.

Photosynthèse réelle= photosynthèse mesurée+respiration mesuré

RQ : on part du principe vérifié au laboratoire, que les modifications de la respiration sont minimales entre l'obscurité et la lumière

- Air confiné : petit volume

(Document 9)

➔ Méthode de Warburg ([document9,1](#)) méthode dite manométrique : les éléments mesurés dans la fiole donc confinés. On utilise des êtres unicellulaires (algues..) soit des plastes qui sont donc dans des milieux de cultures variés

Principe : voir schéma : on peut donc mesurer dans le temps la variation d'O₂, c'est une méthode à l'ancienne, elle est simple mais on doit faire les calculs.

➔ Méthode par électrode à Oxygène ([document9,2](#)). La chambre de mesure, encore plus petite

Principe : électrode à Oxygène. Membrane de téflon perméable

En absence de tout être vivant dans la cuve aucun courant n'est produit.

La membrane de téflon a la particularité d'être perméable au gaz et donc ici à l'oxygène. Au départ, les concentrations d'O₂ des deux cotés de cette membrane de téflon sont égales. Quand on introduit dans la cuve des algues vertes unicellulaires, ou des chloroplastes isolés ou des cellules unicellulaires isolé, la concentration d'O₂ dans la cuve augmente.

La concentration d'O₂ va augmenter dans la solution de KCl, cet O₂ va réagit avec des électrons livré par la cathode en platine et ceci va produire dans le circuit électrique l'apparition d'un courant mesurable et dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en O₂. La jonction d'un analyseur et d'un système informatique dans le circuit permet de quantifier, faire des tableaux et les courbes.

RQ : pour avoir des résultats réels de photosynthèse à part l'activité respiratoire des êtres vivants présent dans l'enceint. Il y a qu'un cas ou cette mesure n'a pas besoin d'être faite : solution de chloroplastes

2- Influence de la lumière

(Document 10) schéma théorique

Ic : intensité, point de compensation, quelque soit le facteur que l'on étudie, c'est le point pour laquelle il y a une égalité entre les échanges respiratoires et les échanges photosynthétique. Pour des valeurs inférieures à cette valeur, les échanges respiratoires sont plus importants en quantité que les photosynthèses, donc la photosynthèse nette est négative. Pour des valeurs supérieures c'est l'inverse

On remarque également que c'est une droite jusqu' environ 200, la pente de cette droite s'appelle le rendement quantique.

Une intensité maximale puis le plateau.

La valeur de l'intensité pour laquelle on est au plateau, I_s, constitué l'insaturation.

Cet I_s peut recevoir un autre qualificatif : I ou éclairement optimal c'est-à-dire valeur de l'intensité pour laquelle le phénomène étudié atteint son max.

(Document 11) courbe lorsque l'on étudie plusieurs plantes

Elles ont la même allure mais il y a des variations. Quand on étudie un phénomène physio sur lequel intervient plusieurs facteurs il faut étudier un par un en s'arrangeant pour que les autres facteurs intervenant soit constant et optimaux.

Le fait de prendre ces précautions, c'est pour limité l'intervention de facteurs limitant (exemple boîte de riz : si un facteur est défaillant → c'est un facteur limitant)

Analyse de la courbe : ce genre d'étude permet de montrer l'existence de deux catégorie de plante par rapport à leur besoin en lumière, certaine efficace à faible éclairement et certaine nécessitant une intensité lumineuse plus important pour avoir une efficacité maximale. Par ailleurs, on retrouve les mêmes points remarquables que précédemment : I_c, I_{max} et I_s. Les courbes malgré leur différence au niveau activité max présente quasiment les mêmes rendements quantique

- **Intensité**

Il faut impérativement que les facteurs soit constant et surtout à leur maximum

- **Qualité**

(Voir spectre d'absorption)

On obtient alors le [document 12](#)

Les mesures permettent d'établir pour tous types de cultures, un spectre d'action de la lumière. L'étude du [doc 12](#), montre qu'il y a concordance aux incertitudes entre le spectre d'absorption de la lumière par les cultures ou les pigments qui en sont extrait et le spectre d'action de lumière. Les radiations lumineuses les mieux absorbées par les pigments sont aussi les plus efficaces sur les échanges chlorophylliens des cellules ou des chloroplastes contenant ces pigments. On constate également que les rendements quantiques les plus importants coïncident aux radiations les mieux absorbés.

3- Influence du CO2

Le CO2 étant l'élément absorbé qui permet la synthèse des matières organique, il paraît évident que la concentration du milieu extérieur en CO2 intervient sur les rendements photosynthétique.

([Document 14](#)) la concentration en CO2 atm est très faible ça correspond à 0,04%près, est représenté sur le graphique par la droite pointillée.

+Ps : point de compo (compensation ???) : concentration du CO2 pour laquelle il y a égalité entre els échanges respiratoires et photosynthétique. Donc tous le CO2 libéré par respiration est fixé par photosynthèse.

RQ : l'étude d'un graphique quel qu'il soit consiste à une étude d'une variation d'un phénomène ou d'une valeur en ordonné en fonction d'une variable en abscisse $y=f(x)$

Pou r des valeurs inférieures au point de compensation, les échanges respiratoires sont supérieurs en intensité aux échanges photosynthétique. Au dessus du point de compensation, les échanges photosynthétiques deviennent plus important que les échanges respiratoires, la courbe de consommation croît. Cette courbe dans sn origine est une droite, la pente de cette droite correspond au rendement quantique.

→Passer la valeur optimale, la consommation stagne.

Cette augmentation de la consommation de CO2 doit se traduire par une augmentation de production de MO. On pourrait appliquer ces résultats à des cultures en serre enrichi en CO2 pour augmenter les rendements, l'obstacle est financier. (Coût de production de CO2)

([Document 15](#))

Ce document illustre la notion de facteurs limitants, puisque la consommation par les chlorelles en fonction de la concentration de CO₂ du milieu de culture est maximale pour un éclairnement de 680 micromol.m⁻².s⁻¹. Pour les deux autres courbes la consommation du CO₂ est limitée par l'éclairnement insuffisant. Pour cette plante-là, si n veut étudier l'influence de la température, il faudra un éclairnement à 680 et une concentration en CO₂ au alentour de 1%.

4- Influence de la température

(Document 16) étude de la photosynthèse nette en fonction de l'éclairnement à 15°C et 25°C. Ceci permet d'établir un certains nombres de valeurs remarquables ? Ces valeurs remarquables sont les valeurs dites compensatoire dite I_c. La deuxième valeur remarquable est I_s intensité remarquable de compensation. 3^{ème} valeur remarquable, permet la photosynthèse maximum. ? On remarque que les rendements quantiques à 15°C et 25°C sont identique. On peut également constater que les échanges respiratoires sont influencés par la température. Sinon, les deux courbes ont la même allure et on constate que les échanges photosynthétique augmentent avec la température, puisque la photosynthèse nette est plus importante à 25 qu'à 15°C.

IV Réaction photochimique

1- Notion de photosystème

Plusieurs expériences ont permis d'aboutir à cette notion de photosystème

- Ruben : en utilisant du CO₂ marqué au carbone et de l'eau marqué à l'oxygène. Ils ont montré que l'oxygène libéré provient de l'eau qui est oxydés et que la réaction se passe avec réduction du CO₂
- (document3)

Si l'on considère ces deux réactions comme un couple redox capable d'interagir on peut écrire :

Le transfert des électrons se fait entre les deux systèmes mais ce transfert ne peut être spontanée car il se ferait contre le sens normal de transmission de +0,81 à - 0,42. Le transfert nécessite alors un apport d'énergie, cette énergie est apportée par la lumière.

- Emerson: il utilise des cultures de chlorelles en suspension, l'incorporation du CO₂ est mesurée en lumière intermittente à l'aide de néon particulier capable de produire des éclairs brefs de 10microsecondes séparé par des intervalles plus ou moins long d'obscurité. Ces intervalles vont de 1 à 40ms. (document 17) les chlorelles dans les conditions expérimentales sont éclairés par la même quantité de lumière la seule différence est l'écart entre ces lumière= le temps d'obscurité.

(Document 18) la photosynthèse semble se réaliser en deux temps :

-un temps où les intermédiaires chimiques sont formés à la lumière sous influence de la température→réaction photochimique

-un temps plus long où les composés intermédiaires sont utilisés pour fabriquer de nouveaux composés, c'est le temps biochimique de la photosynthèse, constitué par des réactions sensible à la température.

- Hill (Document 19) : avec son équipe ils utilisent une suspension de chloroplastes isolés dans une solution tampon sans CO₂. Il mesure alors les variations de concentration d'O₂ dans le milieu grâce à une électrode à oxygène en lumière continue avec addition au bout de trois minutes de ferro-cyanure de potassium. On constate que l'addition dans le milieu d'ion FE³⁺ se traduit par une production d'oxygène par les chloroplastes et donc une reprise d'une partie des échanges gazeux chlorophylliens. Cela suggère qu'il y est deux phénomènes gazeux qui ont une certaine indépendance. L'indépendance est relative car l'absorption de CO₂ n'est pas possible que si auparavant il y a eu libération d'O₂. Dans ce cas, on considère que le FE³⁺ agit comme donneur d'électron.

2- Notion de photosystème

Des mesures précises entre quantité d'oxygène rejeté et quantité de chlorophylles présente ont permis de montrer l'existence dans la membrane des thylacoïdes d'unité fonctionnelle appelée photosystème (document 20 et 21). Photosystème constitué de manière schématique par une antenne et un centre réactionnel.

L'antenne est constituée par une association de pigments : carotène, xanthophylles et chlorophylles. Sorte d'antenne parabolique constituée d'une molécule de chlorophylleA constituant le centre réactionnel. Les photons sont absorbés par les pigments de l'antenne. Les pigments sont excités et passent à l'état énergétique supérieure e pigments repasse à son état normal et pour le faire cède un électron à un pigment voisin par résonnance. La chlorophylle centrale est elle-même excitée et le centre réactionnel va fonctionner de la manière suivante :

La chlorophylle A du centre réactionnel cède un électron pour revenir à son état fondamental, l'électron qui est pris en charge par un accepteur d'électron, qui passe d'accepteur oxydé à accepteur réduit. L'électron perdu par la chlorophylle doit être récupéré pour que la molécule retrouve son état initial (électron donné par le ferrocyanure dans l'exp de Hill). Dans le chloroplaste, cet électron provient de la dissociation de l'eau en proton et cet oxygène gazeux.

En réalité des mesures ont permis de montrer que dans les chloroplastes il existe deux types de systèmes :

- Photosystème II ou PSII ([document 23](#))

Ce photosystème présente une antenne constituée de protéines associées à des pigments chlorophylle A et B, carotène, xanthophylle ; centre réactionnel constitué d'un dimère de chloroA (P680) de centre fer soufre, de cytochrome et de molécules de plastoquinones.

OEC : système d'oxydation de l'eau, constitué de protéines enzymatiques, de protéines de structures et d'ion Mn.

Fonctionnement : dans l'antenne il y a un transfert d'énergie lumineuse par résonnance jusqu'au centre réactionnel. Dans ce centre réactionnel, il y a excitation de P680 (protéine + chloroA) qui se désactive en cédant un électron à la phéophytine (PHEO). Cette PHEO cède un électron à la quinone (QA QB) qui les cède deux par deux à la plastoquinone, on parle de séparation de charge l'électron perdu est récupéré par la plastoquinone, sera renouvelé par oxydation de l'eau ce qui permet à la P680 de retrouver son état normal. La fonction du PSII aboutit à transformer l'énergie lumineuse en un transfert d'électron depuis l'eau et la plastoquinone accepteur intermédiaire.

- photosystème I ou PSI

Le PSI est constitué d'une antenne collective de lumière et d'un centre réactionnel. L'antenne est constituée par des chloroA et B et des caroténoïdes. Le centre réactionnel contient un dimère de chloroA noté P700 associé à des capteurs d'électron et des centres fer soufre qui vont transporter des électrons jusqu'à l'accepteur qui est la ferredoxine accepteur final du PSI. Les électrons perdus par P700 doivent être récupérés pour que la chloroA retrouve son état initial, or ici il n'y a pas OEC donc les électrons ont une autre origine. En réalité, ils vont provenir de la suite du transfert d'électron de PSII à partir de la plastoquinone (PQ-PQH2).

En même temps lors du transfert PQH2, il y a depuis le stroma jusqu'à l'espace intrathylakoidale.....

3- transfert des électrons

Les électrons transférables sont les électrons perdus par les chlorophylles excitées quand elles retournent à leur état initial. Le point de départ du système étant le PSII les électrons perdus sont remplacés par des électrons apparus par dissociation dans l'eau. Le fonctionnement du PSI est du même type que celui du PSII mais les électrons perdus par la chlorophylle sont remplacés par des électrons transférés depuis le PSII. Ce transfert se fait selon le système en Z.

([Document 26](#)) on appelle schéma en Z le transfert acyclique des électrons.

LHCII antenne collective

Les réactions de transfert des électrons entre le donneur (l'eau) et l'accepteur final par NADP⁺ se fait donc par étape grâce aux réactions photochimique (PSII PSI) être à une série de transporteur d'électrons de la membrane du thylacoïdes permettant un fonctionnement en série dit acyclique permettant la réaction de

Molécule énergétique ce NADPH₂ est l'un des résultats moléculaires de la phase photochimique, c'est donc un composé énergétique utilisable pour les réactions biochimique. Il n'est fabriqué que s'il y a transfert d'électron le long de la chaîne photochimie. Le schéma en Z, ce transfert d'électron montrant en abscisse la succession des couple redox concerné (voir tableau) et en ordonné les différentes valeurs des potentiels redox. Naturellement les électrons se transfert selon des potentiels redox croissant. Seule l'intervention de la capture des photons permet un transfert naturel puisque cela permet des sauts de....

4- Synthèse d'ATP

(Document 27) le fonctionnement du PSII se traduit par récupération des électrons par l'apparition de protons dans l'espace intrathylakoidale. Le transfert des électrons dans la membrane par PQ PQH₂ se traduit par un passage d'ions H⁺ du stroma dans l'espace intrathylakoidale, ce double phénomène a pour conséquence une désacidification de l'espace intrathylakoidale et donc la création d'un gradient de proton (plus concentré dans l'espace et moins concentré dans le stroma). Ceci devrait entraine un mouvement naturelle de retour de certains H⁺ vers le stroma (loi de la diffusion). Or dans le sens espace vers stroma la membrane du thylakoides est imperméables au proton sauf au niveau d'une structure particulière appelé sphères pédonculées encore appelé ATPsyhtase constitué de protéines, le passage de protons dans ces canaux libère de l'énergie qui va permettre à partir d'ATP et de phosphate inorganique la formation de molécule d'ATO.

V réaction biochimique

1- Découverte

Montage expérimental simplifié de Bassham et Calvin

Ce montage permet la culture et l'incubation des algues, chlorella et scenedesmus utilisés par Calvin et ces collaborateurs. Le milieu constamment contrôlé (sondé et enregistrement) est, si nécessaire, ajusté dans la culture. Les algues prélevées (électrovane) sont immédiatement fixés dans le méthanol bouillant.

- *fixation méthanol bouillant de cellules

- *broyage filtration

- *solution dans le méthanol des organiques des chlorelles

- *chromato du filtrat en deux dimensions, permettant de séparer les +/- SO de filtrat.

- *radiographie du résultat

Plus on diminue le temps plus il restera plus qu'une tache qui sera le premier composé organique formé à partir du CO₂ qui lui est minéral. Historiquement cette découverte a permis de mettre en évidence le premier composé organique C » appelé APG (acide phosphoglycérique). Toutes les plantes pour lequel le premier composé est APG sont appelé C3.