

La biosynthèse des sucres et des polysaccharides

Chez les procaryotes, les polysaccharides sont synthétisés à partir de deux formes *activées* du glucose, l'*uridine diphosphoglucose* (UDPG) ou l'*adénosine diphosphoglucose* (ADPG). L'ADPG est le précurseur du glycogène.

L'UDPG est le précurseur de nombreux dérivés du glucose servant à la synthèse d'autres polysaccharides tels que la *N* acétylglucosamine et l'acide *N*-acétylmuramique du peptidoglycane ou le lipopolysaccharide de la membrane externe des bactéries Gram négatif. Quand une cellule croît sur un hexose tel que le glucose, elle peut facilement utiliser ce dernier pour synthétiser des polysaccharides. Quand elle croît sur d'autres sources carbonées, le glucose doit être synthétisé. Ce processus, appelé **gluconéogenèse**, utilise comme composé de départ le *phosphoénolpyruvate*, un des intermédiaires clés de la glycolyse. Le phosphoénolpyruvate peut être synthétisé à partir d'oxaloacétate, un intermédiaire du cycle de l'acide citrique.

La biosynthèse des pentoses

Les pentoses sont formés à partir des hexoses, par libération d'un atome de carbone sous forme de CO₂.

Le ribose et le désoxyribose, pentoses utilisés dans la synthèse des acides nucléiques, sont synthétisés selon le schéma présenté dans la figure. Une enzyme importante, la ribonucléotide réductase, convertit le ribose en désoxyribose par réduction du carbone en 2' du cycle. Curieusement, la réaction se produit après, et non avant la synthèse des nucléotides.

Ainsi, les ribonucléotides sont synthétisés de novo, certains d'entre eux étant réduits ensuite en désoxyribonucléotides et utilisés pour la synthèse de l'ADN.

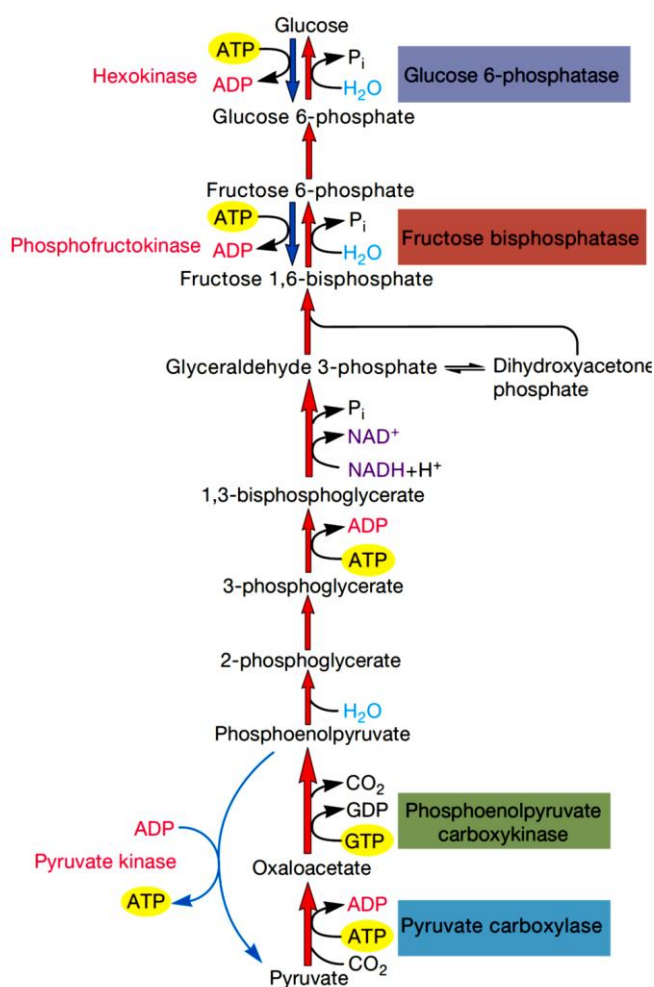
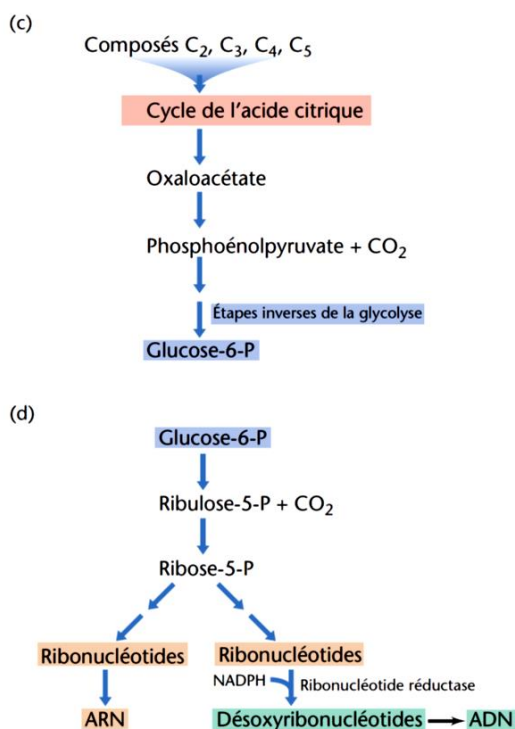
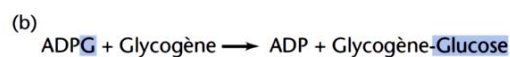
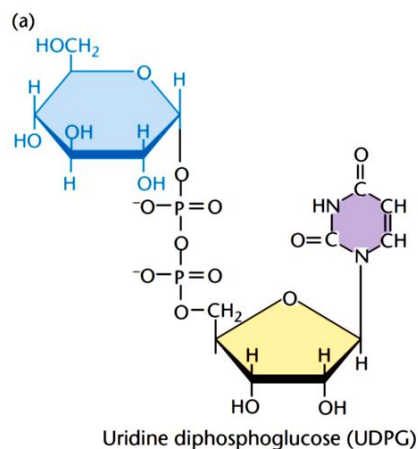


Figure : Voie de la néoglucogénèse utilisée par les Micro-organismes.

FIGURE Le métabolisme des sucres. (a) Les polysaccharides sont synthétisés à partir de formes activées d'hexoses comme l'UDPG. La couleur bleu ici représente le glucose. L'UDPG est principalement impliqué dans la biosynthèse des dérivés du glucose, tels que la *N*-acétylglucosamine. (b) La synthèse du glycogène s'obtient à partir de l'adénosine-phosphoglucose (ADPG), par addition séquentielle de glucose. (c) La gluconéogenèse. Le glucose peut être synthétisé à partir d'autres composés carbonés, généralement par l'inversion des étapes de la glycolyse. (d) Les pentoses nécessaires à la synthèse des acides nucléiques sont formés par la décarboxylation des hexoses, comme le glucose-6-phosphate. Notez que les précurseurs de l'ADN sont *produits* par la *ribonucléotide réductase*, à partir des précurseurs de l'ARN.

La biosynthèse des acides gras et des lipides

La biosynthèse des acides gras

Les acides gras sont synthétisés par addition de deux atomes de carbone à la fois avec l'aide d'une petite protéine appelée *protéine transporteuse de groupement acyle* (ACP). L'ACP se lie à l'acide gras en formation et le libère une fois qu'il a atteint sa longueur finale. Curieusement, bien que la chaîne d'acide gras soit construite par addition de *deux* carbones à la fois, les deux carbones proviennent d'un composé à *trois* carbones appelé *malonate*, lié à l'ACP pour former le malonyl-ACP. Chaque fois qu'un résidu malonyl est apporté, une molécule de CO₂ est libérée.

La composition en acides gras des cellules varie d'une espèce à l'autre et peut aussi changer légèrement dans une même cellule en fonction de la température (la croissance à basse température favorise la synthèse d'acides gras à chaîne plus courte, tandis que la croissance à des températures élevées favorise la synthèse d'acides gras à chaîne plus longue).

Douze à vingt atomes de carbone forment les acides gras les plus communs des lipides des *Bacteria*.

Des acides gras ayant un même nombre d'atomes de carbone peuvent être saturés ou insaturés, ramifiés ou posséder un nombre impair d'atomes de carbones. Les acides gras *insaturés* contiennent une ou plusieurs doubles liaisons dans la longue portion hydrophobe de la molécule. Le nombre et la position de ces doubles liaisons sont souvent spécifiques d'une espèce ou d'un groupe, et les doubles liaisons sont généralement ajoutées par désaturation d'un acide gras saturé. Les *chaînes branchées* et les acides gras à *nombre impair d'atomes de carbone* sont synthétisés à partir d'un précurseur qui contient soit une chaîne d'acide gras branchée, soit un groupe propionyle (C3).

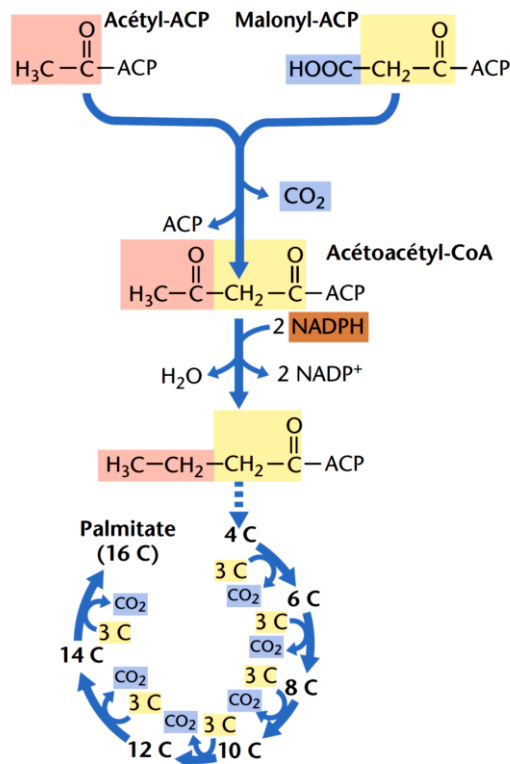


FIGURE Biosynthèse des acides gras. Le schéma représente la biosynthèse d'un acide gras à 16 C, le *palmitate*. La condensation de l'acétyl-ACP et du malonyl-ACP forme l'acétoacétyl-CoA. Ensuite, les unités acétyles sont successivement rajoutées à partir du malonyl-ACP.

Les lipides

L'assemblage final des lipides des *Bacteria* et des *Eukarya* met en jeu l'addition d'acides gras à une molécule de glycérol.

Pour les triglycérides simples, les trois carbones du glycérol sont estérifiés par des acides gras. Dans les lipides complexes, un des carbones contient une molécule de phosphate, de l'éthanolamine, un sucre, ou d'autres substances polaires. Chez les *Archaea*, les lipides contiennent des chaînes latérales phytanyl au lieu de chaînes latérales d'acides gras. Cependant, comme chez les *Bacteria* et les *Eukarya*, le troisième carbone du squelette glycérol des lipides d'*Archaea* contient généralement un groupe polaire quelconque.

Les lipides sont utilisés comme biomarqueurs dans des études d'écologie microbienne. Par exemple, les lipides contenant des liaisons éther sont typiques d'espèces d'*Archaea*, mais pas de *Bacteria* ou d'*Eukarya*. D'autres lipides sont hautement spécifiques de groupes particuliers d'organismes, et cette grande diversité des lipides est utilisée pour détecter ces groupes dans des échantillons provenant du milieu naturel.

Les lipides des organismes morts sont souvent plus réfractaires à la dégradation que les autres macromolécules des cellules. Cette propriété, de même que leur spécificité, font de l'analyse des lipides une méthode idéale pour évaluer la composition bactérienne des matériaux anciens. Par exemple, les analyses de lipides faites sur des échantillons provenant de lacs ou de sédiments marins peuvent permettre de déterminer les différentes espèces de microorganismes et leur quantité dans les diverses couches d'un échantillon de sédiment. Comme chaque couche a un âge différent, qui peut être aisément déterminé, le profil lipidique constitue un enregistrement des types d'organismes présents dans l'habitat au cours du temps.

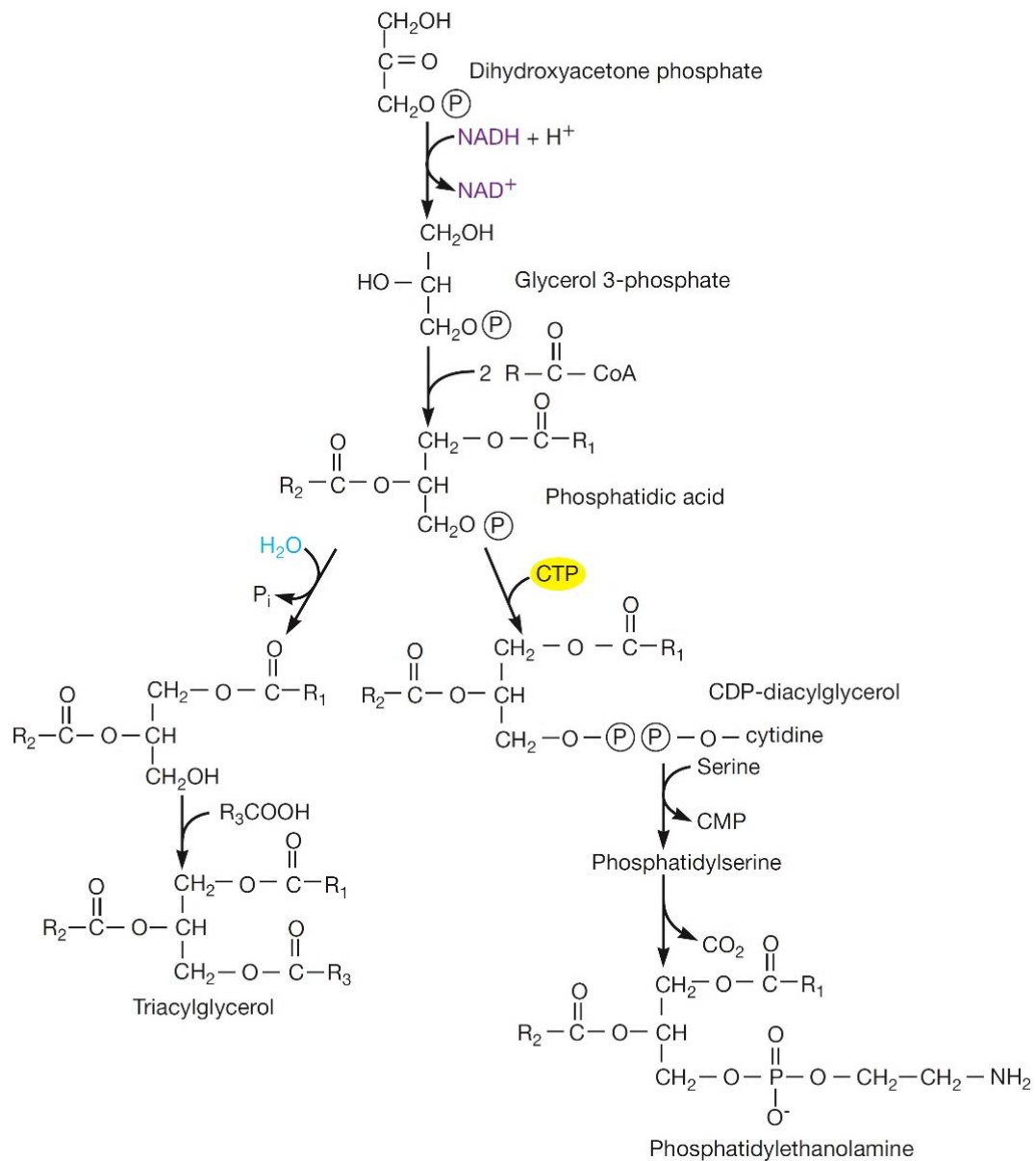


Figure : la synthèse des triglycérides et des phospholipides.

La biosynthèse des acides aminés et des nucléotides

Les acides aminés, monomères des protéines

Les organismes qui ne sont pas en mesure d'assimiler certains acides aminés à partir de leur environnement doivent les synthétiser à partir d'autres sources. Des *familles* structurales ayant en commun des étapes biosynthétiques peuvent regrouper les acides aminés.

Le squelette carboné des acides aminés provient presque exclusivement des intermédiaires de la glycolyse ou du cycle de l'acide citrique.

Le *groupe aminé* des acides aminés provient généralement de sources d'azote inorganique de l'environnement, telles que l'ammoniac (NH_3). Les acides aminés *glutamate* ou *glutamine* sont le plus souvent formés à partir d'ammoniac grâce à deux enzymes, la *glutamate déshydrogénase* et la *glutamine synthétase*.

L'ammoniac incorporé de cette façon peut ensuite être utilisé pour former d'autres composés azotés. Par exemple, le glutamate peut transférer son groupe aminé à l'oxaloacétate dans une réaction de *transamination*, produisant l'α-cétoglutarate et l'aspartate.

De même, la glutamine peut réagir avec l'α-cétoglutarate pour former deux molécules de glutamate dans une réaction catalysée par une *aminotransférase*. Ces réactions servent à incorporer l'ammoniac dans divers squelettes carbonés à partir desquels d'autres réactions de biosynthèse peuvent former les vingt et un acides aminés entrant dans la composition des protéines.

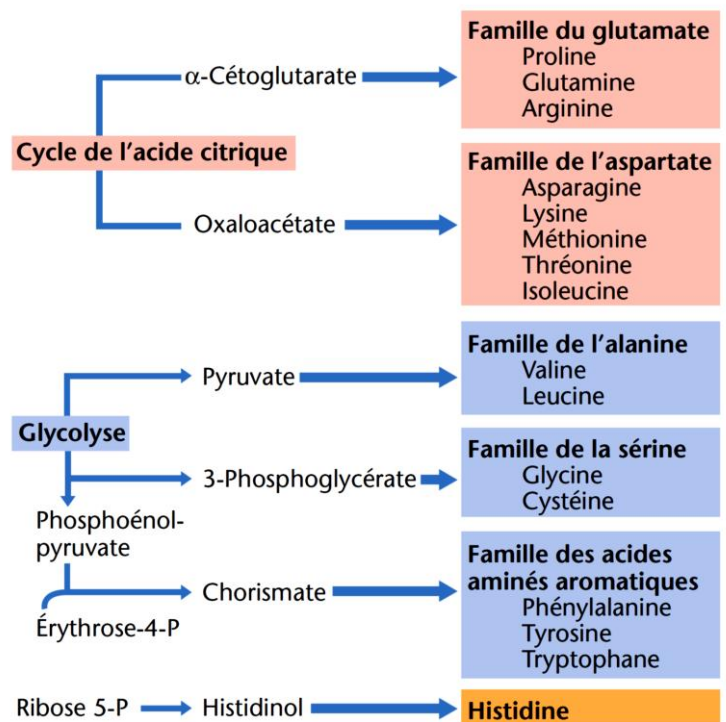


FIGURE Les familles d'acides aminés. Notez que les squelettes carbonés de la plupart des acides aminés proviennent du cycle de l'acide citrique ou de la glycolyse. La synthèse des différents acides aminés d'une famille nécessite fréquemment de nombreuses étapes catalysées par des enzymes différentes, à partir de l'acide aminé précurseur (représenté en gras).

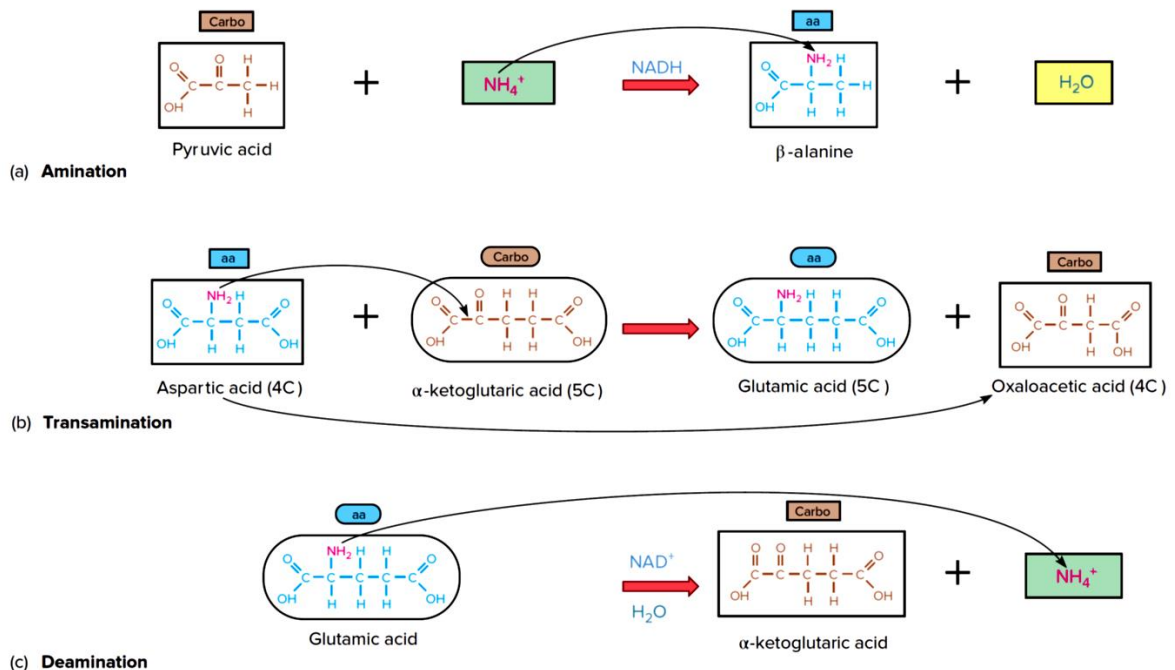


Figure : Réactions qui produisent et convertissent les acides aminés.

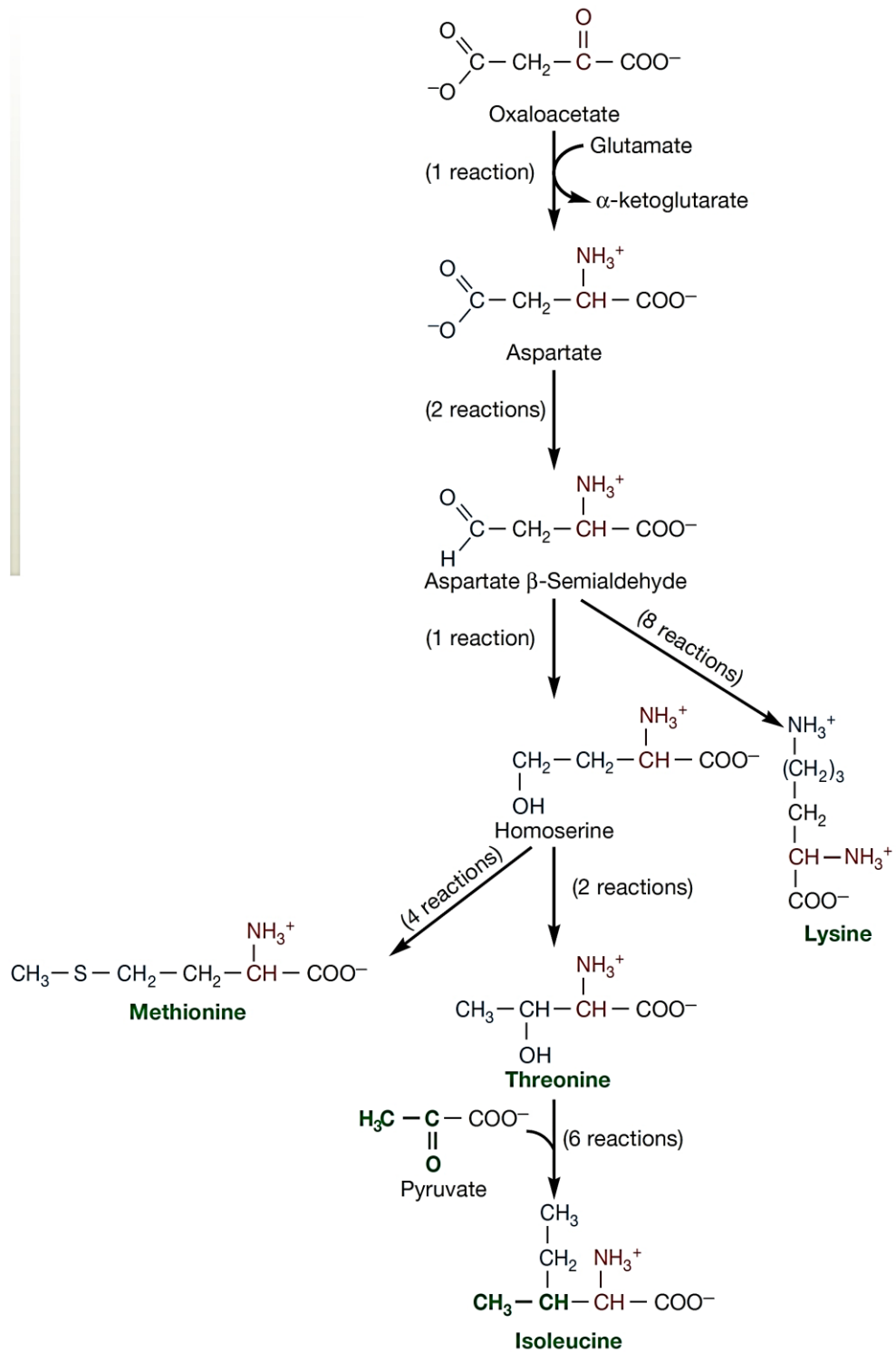


Figure : la biosynthèse des acides aminés.

Les nucléotides, monomères des acides nucléiques

La biosynthèse des purines et des pyrimidines met en jeu des réactions complexes. Les purines sont littéralement construites atome par atome à partir de plusieurs sources distinctes de carbone et d'azote, dont le CO_2 . La purine « clé de départ » – l'*acide inosinique* – est le précurseur des nucléotides puriniques *adénine* et *guanine* qui, une fois synthétisés (sous leur forme triphosphate) et attachés à leur pentose, sont prêts à être incorporés dans l'ADN et l'ARN.

Comme le noyau purine, le noyau pyrimidine est également construit à partir de sources différentes. La pyrimidine clé de départ est l'*uridylate*, à partir de laquelle dérivent les pyrimidines *thymine*, *cytosine* et *uracile* et leurs dérivés.

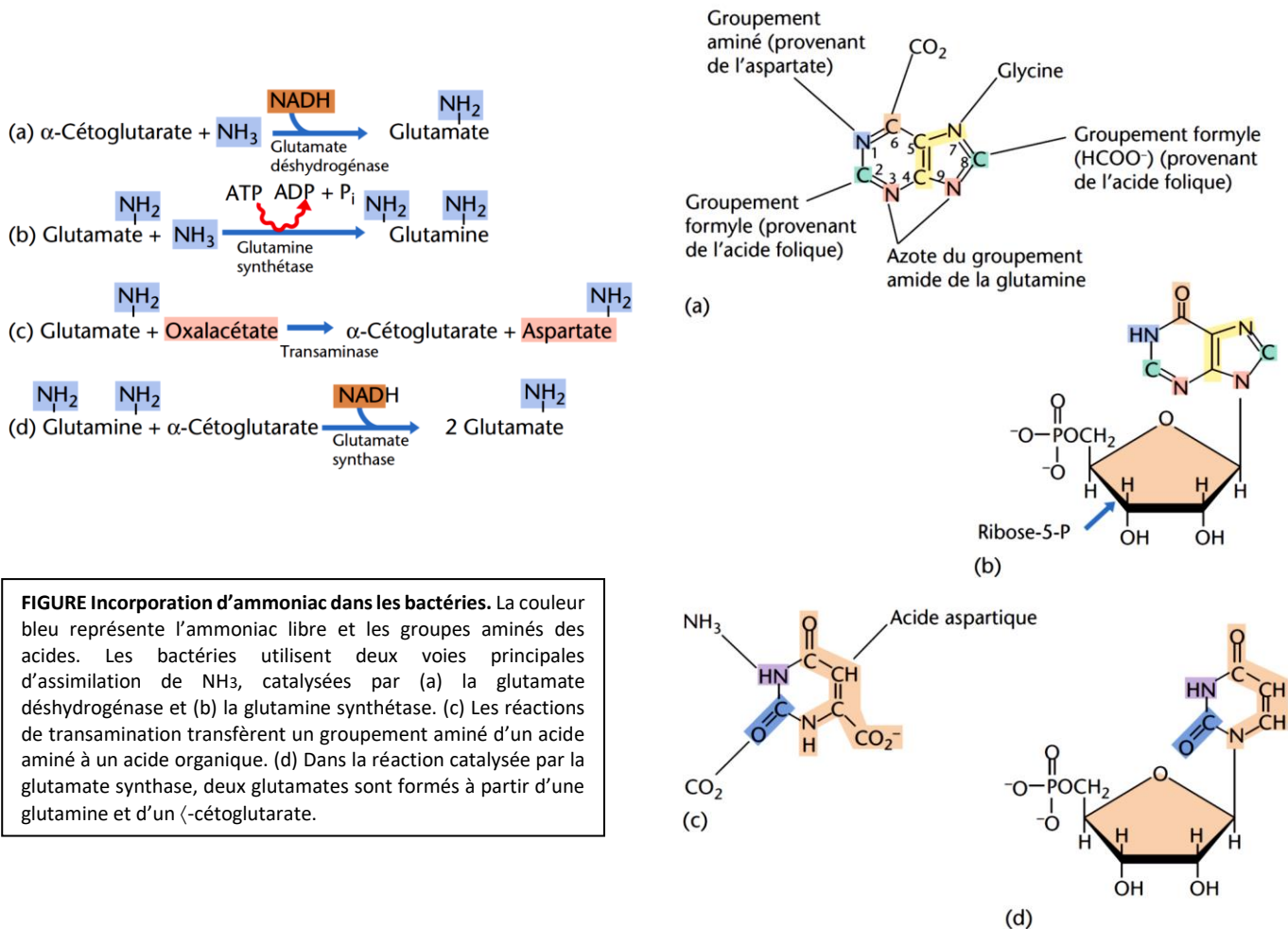


FIGURE Incorporation d'ammoniac dans les bactéries. La couleur bleue représente l'ammoniac libre et les groupes aminés des acides. Les bactéries utilisent deux voies principales d'assimilation de NH_3 , catalysées par (a) la glutamate déshydrogénase et (b) la glutamine synthétase. (c) Les réactions de transamination transfèrent un groupement aminé d'un acide aminé à un acide organique. (d) Dans la réaction catalysée par la glutamate synthase, deux glutamates sont formés à partir d'une glutamine et d'un α -cétoglutarate.

FIGURE Biosynthèse des purines et des pyrimidines. (a) Les précurseurs du squelette des purines. (b) L'acide inosinique, précurseur de tous les nucléotides puriques. (c) L'acide orotique, précurseur du squelette des pyrimidines. (d) L'uridylate, précurseur de tous les nucléotides pyrimidiques. Il se forme à partir de l'orotate, par décarboxylation et addition de ribose-5-phosphate.

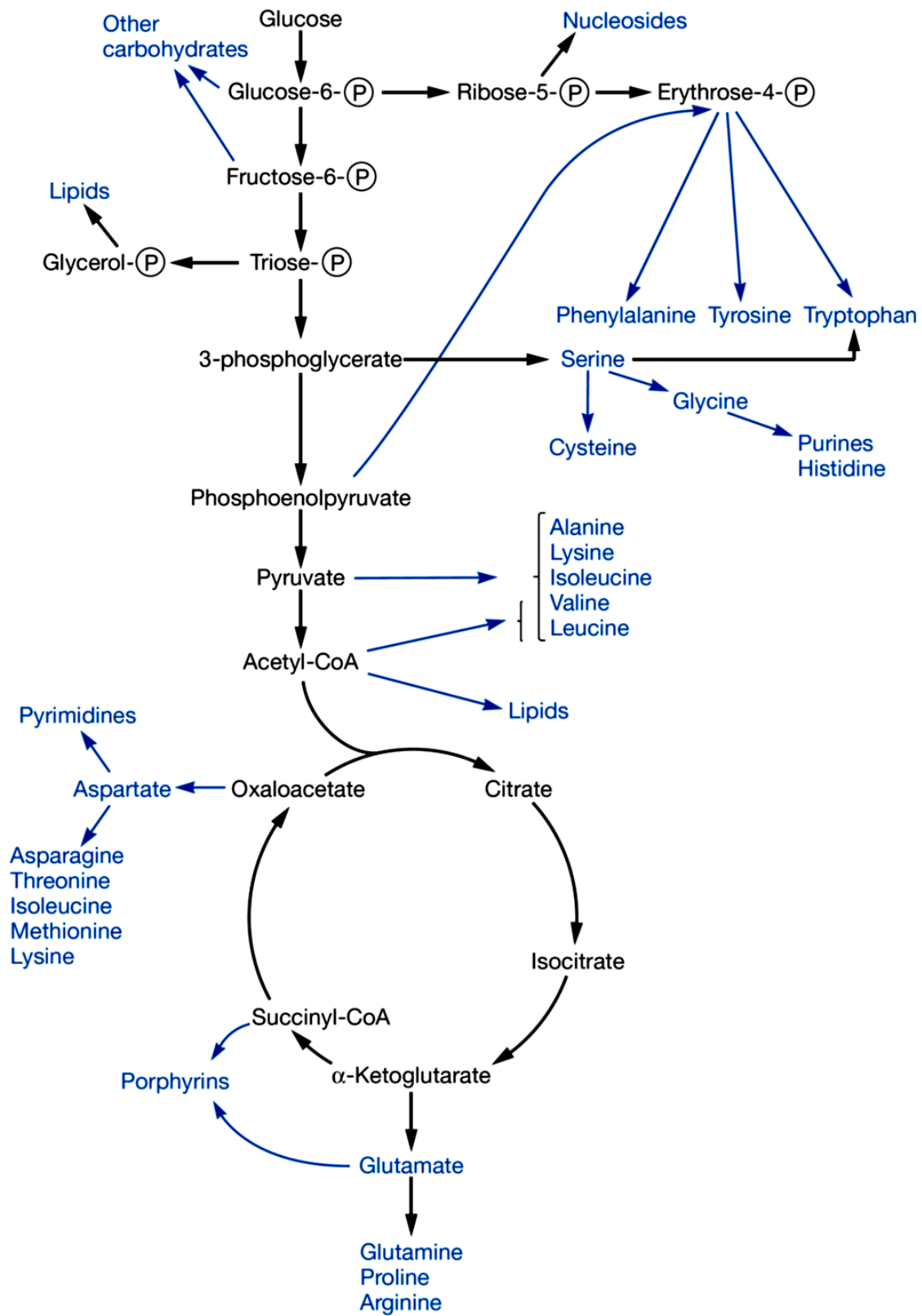


Figure : Intégration du métabolisme