LES AMALGAMESDENTAIRES

INTRODUCTION

C’est le français TAVEAU qui propose en 1836 l'amalgame d'argent (binaire argent-mercure). En 1896, BLACK améliore cet amalgame et définit les limites de composition de l'alliage (65% en poids d’argent, 29% d’étain, moins de 6% de cuivre) en parallèle avec les formes depréparation des cavités( principes de taille). L’amalgame dentaire résulte de la combinaison d’une poudre d’alliage métallique : dont labase est l’argent associé avec l’étain et le cuivre avec un métal liquide à températureambiante : le mercure.La qualité finale d’une obturation en amalgame dépend de ces diverses propriétés donc du type d’alliage utilisé, mais également de sa manipulation qui estessentielle pour un résultat optimal.

1 - Les différents amalgames dentaires

* 1. Les amalgames à faible teneur en cuivre dits conventiels.

Ils sont des amalgames basés sur la composition définie par BLACK. Ils sont caractériséspar une faible teneur en cuivre, toujours inférieure à 12% et le plus souvent inférieure à 6%.

1. 1- 1Composition

**La poudre** : est un alliage constituée d'argent, d'étain, de cuivre et d’un peu de zinc.

* L’argent :40 à 70 % se combine avec le mercure pour former la matrice et procure larésistance mécanique.
* L’étain : 22 à 30 % facilite l'amalgamation, donne une plus grandeplasticité, réduit l'expansion et le temps de prise, il augmente le fluage, la contraction, la corrosion.
* Le cuivre : 1à 6% peut se combiner avec l'étainl'empêchant de se lier avec le mercure, il augmente la résistance en réduisant le fluage et il favorise l’expansion de prise.
* Le zinc (toujours inférieur à 2 %) a un rôle dedésoxydant durant la coulée.

La poudre est le plus souvent sous forme de limailles, elle peut être modifiée par adjonction très restreinte de microsphéres d’eutectique ag-Cu, ou mixte : limaille-microsphéres ag-Cu.

La composition métallurgique de l'alliage est à base d’Ag3Sn (phase γ). Le diagramme de phase Ag-Sn montre que cette phase γ, composé intermétallique Ag3Sn, est dansun domaine de composition étroit. Cette phase, la plus adaptée à la confection d’unamalgame, est obtenue par un refroidissement lent en dessous de 480°C.

Le liquide : Le mercure : représente un peu plus de 50% en poids du mélange avec la poudre. Il doitêtre utilisé très pur sinon une couche de contaminants en surface interfère avec la réactionde prise.

1. 1 – 2 Réaction de prise : après la trituration, la poudre d'alliage coexiste avec le mercure. Lemercure attaque la surface des particules d’alliage. Des transformations physico-chimiquesapparaissent et conduisent à un matériau plastique qui durcit progressivement après lacondensation dans la cavité.

**Ag3Sn+ Hg → Ag3Sn + Ag3Hg4 + Sn8 Hg**

Alliage+Mercure→ phase Gamma + phase Gamma1+ phase Gamma2

La formation de ces constituants est régie par les lois de diffusion atomique à l’état solide et non par de simple réactions chimiques.

La réaction de prise se décompose en :

* **Imprégnation** : L'argent et l'étain des particules diffusent dans le mercure et le mercurediffuse dans les particules d'alliage. Cette diffusion se fait par l'intermédiaire des lacunes.
* **Amalgamation :** Le mercure a une solubilité limitée dans l'argent et dans l'étain. Quand lasolubilité est dépassée, les cristaux des deux composés métalliques binaires précipitent dansle mercure avec apparition du composé Ag2Hg3 (phase γ 1) et du composé Sn7-8Hg (phaseγ 2). Comme la solubilité de l'argent dans le mercure est plus basse que celle de l'étain, laphase γ 1 précipite la première et la phase γ 2 ensuite( c’est le début de la réaction chimique).
* **Cristallisation :**  Les cristaux de γ 1 et γ 2 grandissent au fur et à mesure de la dissolutiondes particules par le mercure. Ainsi l’amalgame durcit au fur et à mesure de la diminutiondu mercure. L'alliage est habituellement mélangé avec le mercure selon un rapport 1/1. Ce taux demercure est insuffisant pour complètement

consommer les particules d'alliages.La réaction peut être exprimée par :

**Microstructure** :On obtient une structure polyphasée de type composite avec une matrice et des charges. La matrice est constituée de gros grains équiaxes de phase γ 1 enveloppant les charges queconstituent les particules de phase γ résiduelle de forme et taille hétérogènes. La phase γ 2 apparaît sous forme de petits grains plus allongés.La répartition des phases est proche de γ 1 = 70%, γ = 20% et γ 2 = 10% pour une proportionde mercure de 50%. La quantité de mercure est un facteur essentiel, pour une proportion de62% de mercure, la phase γ disparaît presque complètement.

1 – 1 – 3 Lespropriétés

Les propriétés mécaniques, physico-chimiques etbiologiques sont dépendantes de la composition et du pourcentage des différentes phases etde leurs propriétés.

Pour les propriétés mécaniques, plus il reste de phase g non consommé dans la structurefinale, plus l'amalgame est résistant (γ = 170 MPa, γ1 = 30 MPa, γ2 = 20 MPa en résistance àla traction). Pour les propriétés électrochimiques, les phases γ et γ1 sont stables dans le milieu buccal. La phase γ2 est la plus faible mécaniquement et la moins stable électro chimiquement etpeut subir une forte corrosion spécialement dons les crevasses de la restauration.Du fait de la présence importante de phase γ2, les amalgames conventionnels présententune faible résistance à la corrosion, un fluage élevé et des propriétés mécaniquesinsuffisantes.

Des tentatives ont été effectuées pour améliorer ces amalgames en modifiant le type depoudre, la granulométrie et la quantité de cuivre, sans dépasser 12%, mais sans résultatsprobants.

L’obligation d’utilisation de l’amalgame sous forme de capsule prédosée pour des raisons liées à l'émission de vapeurs de mercure fait que ces amalgamesconventionnels ont disparu du marché.Les amalgames traditionnels présentent des propriétés mécaniques faibles et une fortetendance à la corrosion.

1.2 Les amalgames à haute teneur en mercure(> À 12%)

**1.2.1 Les amalgames à phase dispersée (admixedalloy)**

En 1963, INNES et YOUDELIS, métallurgistes, développent un amalgame constitué d'unmélange d'une poudreconventionnelle avec un alliage sphérique d’eutectique Ag-Cu (72%Ag et 28% Cu).Le but initial était d'obtenir un durcissement de l'amalgame (amélioration des propriétésmécaniques) par dispersion de petites particules eutectiques sensées ne pas réagir au coursde la prise (amalgames à phase dispersée). Ces particules choisies pour leur moduled’élasticité très élevé, devaient ainsi jouer le rôle de précipités bloquant le mouvement desdislocations. Les cliniciens constatèrent en plus de l’amélioration des propriétés mécaniques, uneréduction de la dégradation marginale, le maintien du poli et la réduction des ternissures. On constate uneréaction physico-chimique entre les particules d’eutectique et la poudre conventionnelle àl’origine de l’apparition de la phase Cu6Sn5 (phase h) au dépend de la phase γ 2 (ne contient pratiquement plus de phase γ 2)

* Composition :
* La poudre d’alliage est constituée d’une base de poudre conventionnelle. L’alliageeutectique représente environ 40% en poids.
* Le mercure représente 50% du mélange avec la poudre.
* Réaction de prise :

Ag3Sn (γ) – Cu3Sn (γ) + Hg → Ag3Sn (γ) +AgHg4(γ 1)+Cu6Sn5 (η)

L'argent et l'étain des particules d'alliage Ag3Sn se dissolvent dans le mercure, l'argent desparticules d'Ag-Cu se dissout dans le mercure. Le mercure pénètre dans ces particules.L’argent réagit préférentiellement avec le mercure pour former la phase γ 1. Au niveau desparticules d’eutectique, le cuivre se libère après l’argent. Ce cuivre va réagir avec l’étainpour forme la phase η (Cu6Sn5). Une couche de cristaux de la phase η se forme ainsi autourdes particules d'Ag-Cu non consommées. La phase γ 1 se lie simultanément avec la phase ηet entoure les particules d'Ag-Cu couvertes de la phase η et les particules d'Ag3Sn. Commepour les amalgames à basse teneur en cuivre, la phase γ 1 représente la matrice.

Quelques cristaux de phase η peuvent se retrouver au milieu de la phase

γ l. La phase γ 2 seforme en même temps que la phase η et elle est éliminée ensuite par elle en consommantl’étain de la phase γ 2.

* MicrostructureLe résultat correspond à la microstructure suivante : des particules γ pris dans une matricede phase γ 1 au sein de laquelle se trouve des particules d'eutectique entourées d'unecouche de η mêlée avec de la phase γ 1. On retrouve également des petits noyaux de phaseh dispersés dans la matrice.
* Propriétés

On obtient une amélioration significative de la résistance à la corrosion, un fluage faible etdes propriétés mécaniques renforcées.

Les amalgames à phase dispersée démontrent une amélioration significative despropriétés mécaniques et électrochimiques. Ces amalgames sont toujours sur le marché.

**1.2.2Les amalgames HCSC (High Copper Single Composition) :**

Le rôle favorable du cuivre démontré, l'évolution des amalgames à haute teneur en cuivres est faite dans le sens d'une incorporation directe du cuivre. En 1974, ASGAR propose unalliage sous forme d'une poudre homogène avec une haute teneur en cuivre.La poudre est formée d'un seul type de particules à composition ternaire Ag-Sn-Cu. Lecuivre est incorporé directement à l'alliage lors de la fonte du lingot.Ainsi, contrairement aux amalgames dispersés, chaque particule de poudre de cet alliage ala même composition chimique, d'où le nom d'alliages à composition unique.La poudre est de type limaille ou de type sphérique. Une poudre de type sphérique est fabriquée par atomisation du métal fondu dans descolonnes de pulvérisation sous gaz protecteur (argon) ou sous jets d’eau à haute pression,d'où la formation de particules sous forme de gouttelettes (refroidissement rapide) ou dessphères (refroidissement plus lent). On peut contrôler avec cette technique la granulométrie de façon précise. Des traitements thermiques d'homogénéisation sont effectués, ainsi que des lavages paracide.

* Composition

La composition métallurgique de base de l'alliage est le ternaire Ag-Sn-Cu.Les phases β (Ag-Sn), phases γ (Ag3Sn) et phases ε (Cu3Sn) se retrouvent dans chaqueparticule, parfois la phase η (Cu6Sn5).



* Réaction de prise

Après trituration avec le mercure, l'argent et l'étain de Ag-Sn se

dissolvent dans le mercure.La réaction de prise avec le mercure, entraîne la formation de γ l dans un premier temps. Puis la phase γ 2 se forme ce qui entraîne une diminution de la quantité de Sn à lapériphérie des particules Ag-Sn-Cu alors que le pourcentage de Cu augmente car saréaction avec le mercure est limitée. Ces mêmes particules, formées en majorité d’argent etde cuivre en surface, vont alors jouer le rôle des particules d'eutectique en éliminant laphase γ

* Microstructure

Les cristaux de γ 1 grandissent, formant la matrice. Les cristaux de phase η se formentcomme des grilles de cristaux en bâtonnets à la surface des particules ainsi que dans lamatrice. Ces cristaux sont plus larges que ceux entourant les particules d'Ag-Cu dans lesamalgames dispersés.

Les alliages ternaires de type sphérique (Tytin, Valiant) ont une structure homogène. Lateneur en cuivre varie de 13 à 28%. La part de phase e est élevée. La répartition spatialeentre les phases γ et e est favorable et grâce à cette distribution, l'étain libéré de la phase γréagit directement avec la phase e pour former la phase η. La phase γ 2 n'apparaît à aucunmoment.Les alliages ternaires de type limaille (Ana 2000) possèdent aussi une grande part dephase e mais qui n'est pas distribuée aussi finement. Aussi, la formation temporaire dephase γ 2 n'est pas entièrement évitée.Les alliages ternaires de type sphéroïde (Oralloy) sont pratiquement identiques auxsphériques. On obtient une bonne résistance à la corrosion, un fluage négligeable et des propriétésmécaniques optimisées.Les amalgames de type HCSC sont les plus performants pour les propriétés mécaniqueset électrochimiques. Ils représentent le matériau de choix pour un résultat cliniqueoptimal, dans les secteurs postérieurs.

1. –Les Propriétés mécaniques des amalgames

L’utilisation des amalgames s’effectuant dans les secteurs postérieurs, les propriétésmécaniques sont un critère de choix déterminant.

2 - 1 Dureté

On utilise la dureté Vickers sous 300g à 24h.

* Amalgame conventionnel 100 HVN
* Amalgame à phasedispersée 130 HVN
* Amalgame HCSC 160 HVN

2 - 2Résistance à la traction

La charge de rupture est fonction du mécanisme de prise, donc du temps écoulé, on la mesure à 15 mn, 1h, 24h et 7j. la résistance à la traction diamétrale Traction diamétrale 7j en MPa

* Amalgame conventionnel 50
* Amalgame à phase dispersée 45
* Amalgame HCSC 55

2 - 3Résisance à la compression

La valeur de la résistance à la compression à 7 jours pour un alliage HCSC est environ ledouble d’un amalgame conventionnel. A 1 heure, un HCSC est plus résistant qu’unconventionnel à 7 jours.Résistance à la compression(Compression 1h en MPa Compression 7j en MPa).

* Amalgameconventionnel 50 250
* Amalgame à phasedispersée 120 380
* Amalgame HCSC 290 500

2 - 4 FLUAGE

Le fluage est une déformation plastique progressive et irréversible qu'un corps subit dans letemps, sous charge constante inférieure à la limite d'élasticité. Le comportement clinique de l'amalgame se fait àtempérature buccale (37°C) qui est relativement proche de la température du solide de certaines phases (γ 1) : Fluage à 7j .

* Amalgame conventionnel 6%
* Amalgame à phase dispersée 0,45%
* Amalgame HCSC 0,05%

En fait la phase γ 1 a le point de fusion le plus bas. Le fluage est corrélé au mouvement desdislocations et aux glissements des grains constituant la matrice. Le rôle du cuivre estprimordial. Il y a formation de η au niveau des joints de grains formant un verrouillage quis'oppose au glissement. Au contraire γ 2 possède une grande aptitude à la déformationplastique et favorise ainsi les glissements de γ 1.L’amalgame est un matériau bien adapté aux restaurations en méthode directe dans lessecteurs postérieurs de par ses propriétés mécaniques élevées.

1. – Propriétés physico – chimiques
2. – 1 Variations dimentielles

**3 - 1- 1 Les Variations au cours de la prise**

L'amalgame ne présente aucune adhérence aux tissus dentaires du fait de la tensionsuperficielle élevée du mercure qui entraîne une mauvaise mouillabilité. Une légèreexpansion est souhaitée pour l'étanchéité du matériau, mais si elle est trop forte, il y a risquede fracture. La plupart des amalgames modernes montrent une nette contraction après triturationmécanique.Quand l'alliage et le mercure sont mélangés, la contraction résulte de la dissolution desparticules et de la croissance de la phase γ 1. Le calcul démontre que le volume final de γ 1 est moindre que le volume initial de l’argent dissout et du mercure liquide. La contractioncontinue tant que la phase γ 1 augmente. Au fur et à mesure de la croissance, les cristaux deγ 1 empiètent les uns sur les autres, d'où des pressions qui s'opposent à la contraction.

Si le mercure est suffisant, une expansion se passe durant l'empiètement. Si le mercure estinsuffisant, une contraction est constatée.

Or, les amalgames modernes présentent un rapport Hg/alliage bas. Des pressions decondensation élevées accentuent également la contraction.

**3 – 1 - 2 Effet de la contamination par l'humidité**

Si un amalgame à basse ou à haute teneur en cuivre contenant du zinc est contaminé parl'humidité durant la condensation, une large expansion peut avoir lieu (un amalgame nonzinc contient moins de 0,01% de zinc). Cette expansion débute au 4ème-5ème jour et peutdurer plusieurs mois. Cette expansion retardée est en partie responsable des fracturesconstatées à long terme sur les obturations volumineuses. L’utilisation de la digue estprimordiale pour limiter cet effet.

**3 – 1 - 3 Variations d'origine thermique**

Le coefficient de dilatation thermique de l'amalgame est de 22 à 28. Celui de ladentine est de 8,3 et celui de l’émail de 11,4.

1. – 2 Conductivité thermique

La conductivité de l'amalgame (0,023 J/s/cm2) est 13 fois plus faible que celle de l'or et 20fois plus importante que celle d'une résine composite et 37 fois supérieure à celle de ladentine. Cette conductivité élevée amplifie le facteur dilatation thermique.

1. - 3 Propriétés électrochimiques

L'amalgame est un alliage métallique qui présente une hétérogénéité de composition et destructures. La salive représente un milieu électrolytique oxygéné et chloruré qui permet letransfert d'électrons inhérent à la réaction électrochimique ce qui conduit à l'oxydation del'alliage en fonction de son potentiel de surface.Parmi tous les alliages étudiés dans le milieu buccal, les amalgames sont les pluscorrodables.

1. **– 3 - 1 Paramètres de la corrosion**

Les phénomènes d’aération différentielle (différence de potentiel entre zone aérée et nonaérée) amplifient la corrosion. Les couplages galvaniques peuvent provenir d'associations entre amalgame et or maiségalement entre amalgame conventionnel et HCSC ou encore entre amalgames d'âgesdifférents caractérisés par des potentiels de repos différents.Le rapport de surface est important. Une surface cathodique (ex : or) importante associée àune surface anodique (ex : amalgame) faible entraîne une corrosion plus rapide et plusintense de l'anode.Les phénomènes de micropiles existent également entre les différentes phases d’un mêmeamalgame.

Pour un amalgame traditionnel on observe un courant d'oxydation important proche dumA/cm2. Pour un HCSC l'intensité du courant de corrosion est 35 fois plus faible.

1. **– 3 - 2 Facteurs influençant la corrosion**

La phase γ 2 a le potentiel le plus bas, c'est la phase la plus attaquée par piqûre, γ est peu oupas attaqué, γ 1 est la plus noble. Le traitement de surface a une influence importante sur lecomportement à la corrosion, le polissage réduit nettement l'attaque par corrosion.Le Zn peut être un générateur de corrosion important en présence d'humidité et aboutit àune expansion retardée.

**3 - 3 - 3 Conséquences de la corrosion négatives.**

La corrosion favorise une détérioration marginale de la restauration. Les ions métalliques libérés peuvent colorer la dentine et provoquer des tatouagesgingivaux. Le mercure libéré va passer dans l’organisme, mais le phénomène est réduit par larecombinaison du mercure libre avec les particules d’alliage qui n’ont pas réagies. Les débris de corrosion vont partiellement combler l’interface. Les ions métalliques libérés vont se recombiner sous forme d’oxydes (particulièrement decuivre) qui ont une action bactéricide et bactériostatique.

Sur le plan des propriétés physico-chimiques, le choix du type d’amalgame est unfacteur important, mais la manipulation clinique demeure le facteur essentiel pour desrésultats cliniques à long terme.

1. – Propriétés biologiques des amalgames.
2. **- 1 Toxicité des produits de dégradation**

Les produits de dégradation ont un pouvoir cytotoxique. Ils peuvent migrer en directionpulpaire et entraîner une réaction pulpaire.

**4 - 2 Toxicité du mercure**

La présence systématique de mercure au sein de l'amalgame dans une proportion de 40 à50% accentue le problème de la toxicité du matériau. En effet le mercure rentre dans lacatégorie des produits toxiques.En matière de toxicité le facteur le plus fondamental est la dose.L'INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité) établit des normes précises desécurité. Les vapeurs de mercure aussi bien que les sels sont toxiques à des doses de l'ordrede 0.1 mg/m3.

L'amalgame libère du mercure essentiellement lors de la condensation, du polissage et lorsde la dépose d'une restauration. Durant ces actes, la proportion de mercure libéré etsusceptible d'être absorbé (85 et 325 mg/m3).La valeur limite d'exposition aux vapeurs de mercure tolérée dans les locaux de travail quiest de 50 mg/m3 concerne une exposition de 8 heures tous les jours pendant uneannée.L'air du cabinet dentaire varie entre 1 et 10 mg/m3 de mercure.Un amalgame fraîchement réalisé représente le quart de l'apport alimentaire journalier etun amalgame vieilli le vingtième soit dans un facteur mille avec le seuil de toxicitéjournalier.Il n'existe à l'heure actuelle aucune preuve scientifique susceptible de remettre en causel'innocuité de l'amalgame.

1. – Manipulation des amalgames.

**5 – 1 Choix du type d’alliage** :

On choisira de préférence un amalgame de type HCSC. La présentation est obligatoirementsous forme de capsule. La granulométrie est définie par le fabricant. La taille moyenne des particules est de 15 à 35mm avec un mélange compris entre 5 et 100 mm. Plus la granulométrie est importante, plusla surface développée de chaque particule est faible par rapport à la masse d’alliage et plusla cinétique de prise est lente.

Plus la granulométrie est faible, plus l’expansion diminue.Une granulométrie mélangée limite les porosités et la quantité de phases mercurielles. La tendance actuelle correspond à des particules petites ou moyennes mélangées quidonnent des amalgames à prise rapide avec une grande résistance initiale.

**5 – 2 Choix du type de poudre :**

La poudre sphérique nécessite lors de l'amalgamation moins de mercure qu'une poudrelimaille. L’état de surface des particules sphériques est plus lisse et régulier que pour leslimailles facilitant l’étalement du mercure et rendant la cinétique de prise plus rapide. Unamalgame sphérique fraîchement préparé est plus mou et plus facilement modelable car larésistance à la friction des différentes sphères est plus faible que celle des particules delimaille. Un amalgame sphérique nécessite ainsi moins de pression à la condensation qu'unamalgame limaille.L'inconvénient pour le sphérique est que l'on ne peut compter sur la pression decondensation pour la confection du point de contact. Le temps de prise d'un amalgame sphérique est court, c'est un désavantage sur un plan.

**5 – 3 Lamanipulation**

Elle est un avantage sur le plan de l'obtention de propriétés mécaniques élevées aubout d'une heure (moins de risque de fracture).Afin de tirer profit des deux types de poudre, on combine avec des mélanges limailles-sphères ou sphères-limailles. Ce type de mélange est une troisième catégorie de poudred'amalgame, la plus utilisée actuellement.

1. **– 4 Condensation**

Elle s’effectue avec des fouloirs, manuellement ou mécaniquement. La condensation parultra-sons est à proscrire, car elle génère d’importantes vapeurs de mercure. On utilise des fouloirs de plus gros diamètre pour la poudre sphérique, en rapport avec lataille de la cavité, avec une condensation plus oblique.

**5 – 5 Précaution à prendre**

Il est obligatoire d’utiliser des amalgames non gamma-2 et sous forme de capsulesprédosées. Il est nécessaire de travailler dans des locaux ventilés (aération du cabinetplusieurs fois par jour).

Le fraisage et le polissage doivent être réalisés sous refroidissement, aspiration chirurgicaleet champ opératoire. La pose et la dépose libérant beaucoup de mercure, il est prudent deles éviter durant la grossesse et l’allaitement.Il n’existe aucune preuve scientifique permettant de remettre en cause l’inncuité del’amalgame pour la restauration des dents postérieures. Mais certaines précautions sontnécessaires dans le cadre d’une utilisation raisonnée.