

# Cycle Affinage et Raffinage de l'Or : Maîtrisez les Procédés Pyrométallurgiques et Hydrométallurgiques

*Lien : https://afrique-formation.com/formation/cycle-affinage-et-raffinage-de-lor-maitrisez-les-procedes-pyrometallurgiques-et-hydrometallurgiques*

DURÉE
**10 jours (70h)**

RÉFÉRENCE
**PET03**

CATÉGORIE
**Procédés de Raffinage et de Pétrochimie**

Afrique Formation

## OBJECTIFS DE LA FORMATION

À l'issue de cette formation, vous serez capable de :

- Maîtriser les propriétés physico-chimiques de l'or et de ses alliages pour choisir le procédé d'affinage adapté à chaque matrice entrante
- Réaliser un échantillonnage représentatif conforme à la norme ISO 12743 et interpréter les résultats d'analyses préliminaires XRF et OES
- Dimensionner et conduire une opération de fusion scorifiante en optimisant le choix des fondants et le bilan thermique
- Exécuter une coupellation complète et maîtriser la technique d'inquartation pour l'affinage des alliages riches en or
- Piloter le procédé Miller (chloration) en contrôlant les paramètres de débit de chlore, la température du bain et les critères de fin de réaction
- Comprendre les mécanismes de dissolution de l'or par les différents ligands (cyanure, chlorure, thiosulfate) et optimiser les conditions opératoires
- Préparer et utiliser l'eau régale en toute sécurité, puis réaliser une précipitation sélective de l'or avec le réducteur approprié
- Paramétrer et superviser une cellule d'électroraffinage Wohlwill pour produire de l'or 99,99% dans les conditions optimales de rendement faradique
- Réaliser un essai au feu complet (fire assay) selon ISO 11426 et calculer la teneur en or avec une incertitude maîtrisée
- Interpréter les résultats d'analyses ICP-OES, ICP-MS et XRF pour certifier la pureté et détecter les impuretés critiques
- Préparer un lingot conforme aux spécifications LBMA Good Delivery et comprendre le processus d'accréditation d'une raffinerie
- Appliquer les règles de sécurité pour la manipulation des acides, du chlore et des cyanures conformément au Code ICMC
- Concevoir et exploiter un système de traitement des effluents et des déchets conforme aux normes ISO 14001 et aux exigences du World Gold Council
- Mettre en œuvre un système de management intégré Qualité-Sécurité-Environnement dans une raffinerie d'or
- Évaluer les risques professionnels à l'affinage de l'or et élaborer un plan de prévention
- Assurer la traçabilité de l'or depuis la matière première jusqu'au lingot certifié selon les principes du Responsible Jewellery Council (RJC CoC)
- Rédiger les procédures opératoires (SOP) pour chaque étape critique du raffinage
- Analyser les coûts de production et optimiser le rendement métal pour améliorer la rentabilité de la raffinerie

Afrique Formation

## POUR QUI ?

- Ingénieurs métallurgistes ou chimistes en poste dans une mine d'or
- Techniciens supérieurs de raffinerie d'or cherchant à renforcer leurs compétences
- Responsables de production ou directeurs techniques de raffineries artisanales ou semi-industrielles visant la certification LBMA
- Analystes de laboratoire spécialisés en métaux précieux
- Cadres d'administrations minières (ministères, agences de régulation) chargés du contrôle des raffineries et de la lutte contre l'or illicite
- Ingénieurs environnement et HSE du secteur minier chargés de la conformité des raffineries aux normes internationales

Afrique Formation

AFRIQUE FORMATION
La Référence en Afrique pour la Formation



## Programme détaillé

### 1 / FONDAMENTAUX DE LA CHIMIE DE L'OR ET DE SES ALLIAGES

- Propriétés physico-chimiques de l'or : densité (19,3 g/cm³), point de fusion (1064°C), résistance à l'oxydation et réactivité avec les halogènes
- Classification des alliages aurifères naturels et industriels : électrum (Au-Ag), doré (Au-Ag-Cu), or natif et inclusions de platinoïdes
- Notions de thermodynamique appliquée : diagrammes d'Ellingham, potentiels redox des couples $Au^{3+}/Au$ et $Au^{+}/Au$, stabilité des complexes chloro- et cyano-aurates

### 2 / CARACTÉRISATION ET ÉCHANTILLONNAGE DES MATIÈRES PREMIÈRES AURIFÈRES

- Techniques d'échantillonnage représentatif selon la norme ISO 12743 : prélèvement, quartage, pulvérisation et homogénéisation
- Identification des matrices entrantes : minerais, concentrés gravimétriques, doré, déchets électroniques (e-waste), bijoux et scraps
- Analyse préliminaire par fluorescence X (XRF) portable et spectrométrie d'émission optique (OES) pour orientation du procédé

### 3 / PRINCIPES FONDAMENTAUX DE LA PYROMÉTALLURGIE DE L'OR

- Transferts thermiques et conception des fours : fours à induction, fours à résistance, fours basculants et creusets en graphite ou céramique réfractaire
- Rôle des fondants (borax $Na_2B_4O_7$, silice $SiO_2$, carbonate de sodium $Na_2CO_3$) : formation des scories, captation des oxydes métalliques et protection contre l'oxydation
- Calculs de bilan matière et thermique : rendement de fusion, pertes au feu, consommation énergétique par kg d'or produit

### 4 / PROCÉDÉS PYROMÉTALLURGIQUES D'AFFINAGE : FUSION SCORIFIANTE ET COUPELLATION

Afrique Formation

- Fusion scorifiante des concentrés : chargement du four, ajustement de la basicité des scories, coulée et séparation métal/scorie par différence de densité
- Coupellation sur coupelle en magnésie ou cendres d'os : oxydation sélective du plomb et des métaux de base à 950-1000°C, absorption des oxydes par la coupelle poreuse
- Inquartation : alliage délibéré avec l'argent (ratio 1:3 Au:Ag), laminage, puis dissolution de l'argent à l'acide nitrique dilué pour récupérer l'or pur

## 5 / PROCÉDÉ MILLER : CHLORATION DE L'OR EN FUSION

- Principe de la chloration : injection de chlore gazeux ($Cl_2$) dans l'or fondu à 1100°C, formation de chlorures volatils (AgCl, $CuCl_2$, $ZnCl_2$, $PbCl_2$) qui s'éliminent en scories ou fumées
- Conduite industrielle du procédé Miller : paramètres de débit de $Cl_2$, durée de bullage, critères de fin de réaction (flamme bleue caractéristique), coulée en anodes ou lingots 99,5%
- Gestion des sous-produits : récupération des scories chlorurées argentifères, traitement des fumées au scrubber NaOH, recyclage du chlore résiduel

## 6 / PRINCIPES FONDAMENTAUX DE L'HYDROMÉTALLURGIE DE L'OR

- Chimie de la dissolution de l'or : complexation par les ligands cyanure ($CN^-$), chlorure ($Cl^-$), thiosulfate ($S_2O_3^{2-}$) et thiourée, cinétique et thermodynamique des réactions
- Diagrammes de Pourbaix (Eh-pH) de l'or : domaines de stabilité de Au, $AuCl_4^-$, $Au(CN)_2^-$, $Au(OH)_3$, prévision des conditions de dissolution et précipitation
- Facteurs d'optimisation : concentration en réactifs, température, agitation, granulométrie, présence d'oxydants ($O_2$, $H_2O_2$) ou réducteurs

## 7 / PROCÉDÉ AQUA REGIA ET PRÉCIPITATION SÉLECTIVE

- Préparation et manipulation de l'eau régale ($HNO_3$:HCl ratio 1:3) : réaction de formation du chlore naissant et de NOCl, dissolution de l'or sous forme d'acide chloroaurique $HAuCl_4$
- Précipitation sélective de l'or : ajout de sulfate ferreux ($FeSO_4$), métabisulfite de sodium ($Na_2S_2O_5$) ou acide oxalique, filtration du précipité d'or métallique
- Purification et lavage du précipité : élimination des traces d'acide, séchage, calcination douce et fusion en lingot

## 8 / CYANURATION ET RÉCUPÉRATION DE L'OR : PROCÉDÉS MERRILL-CROWE ET CIL/CIP

- Lixiviation cyanurée selon MacArthur-Forrest : préparation des solutions NaCN (200-500 ppm), contrôle du pH (10-11), aération et cinétique de dissolution de l'or
- Procédé Merrill-Crowe : clarification de la solution enceinte, désoxygénation sous vide, cémentation par poudre de zinc, filtration du précipité Au-Zn et fusion
- Procédés CIL (Carbon-in-Leach) et CIP (Carbon-in-Pulp) : adsorption de l'or sur charbon actif, élution (procédé Zadra ou AARL), électrolyse de l'éluat et régénération du charbon

Arnaque Formation

## 9 / ÉLECTRORAFFINAGE WOHLWILL : PRODUCTION D'OR HAUTE PURETÉ 99,99%

- Principe de l'électrolyse Wohlwill : anode en or 99,5% (doré Miller), cathode en titane ou or pur, électrolyte HCl/$HAuCl_4$ à 65-70°C, dépôt cathodique d'or 99,99%
- Paramètres opératoires : densité de courant (100-150 A/$m^2$), tension de cellule, température, agitation, durée de cycle et rendement faradique (>99%)
- Gestion des boues anodiques : récupération des platinoïdes (Pt, Pd, Rh), de l'argent et des impuretés, traitement et valorisation des sous-produits

## 10 / CONTRÔLE QUALITÉ ET ESSAI AU FEU (FIRE ASSAY)

- Protocole complet du fire assay selon ISO 11426 : pesée de l'échantillon, fusion avec flux (litharge PbO, borax, farine), coupellation, pesée du bouton d'or-argent (prill), séparation à l'acide nitrique (parting)
- Calcul de la teneur : masse d'or pur rapportée à la prise d'essai, expression en g/t, %, ou fineness (‰), incertitude de mesure et répétabilité
- Étalonnage et contrôle interne : matériaux de référence certifiés (CRM), cartes de contrôle, participation aux essais interlaboratoires (proficiency testing)

## 11 / TECHNIQUES ANALYTIQUES INSTRUMENTALES : ICP-OES, ICP-MS, XRF

- Spectrométrie ICP-OES (Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry) : principe, préparation des échantillons par dissolution acide, analyse multi-élémentaire des impuretés (Ag, Cu, Fe, Pb, Pd, Pt)
- Spectrométrie ICP-MS (Mass Spectrometry) : détection ultra-trace (ppb), quantification des éléments du groupe du platine et des contaminants critiques pour la certification 99,999%
- Fluorescence X (XRF) de table ou portable : analyse non destructive de surface, calibration par standards certifiés, limites de détection et applications au contrôle rapide en production

## 12 / CERTIFICATION DE PURETÉ ET NORMES LBMA GOOD DELIVERY

- Exigences LBMA pour les lingots Good Delivery : pureté minimale 99,5%, masse 350-430 oz (10,9-13,4 kg), dimensions, marquages obligatoires (raffineur, numéro de série, année, fineness)
- Processus d'accréditation LBMA : audit documentaire, inspection sur site, analyse proactive (proactive monitoring), tests d'aptitude (proficiency testing) et renouvellement quinquennal
- Niveaux de pureté industriels : 99,5% (Miller), 99,99% (Wohlwill), 99,999% (électroraffinage poussé ou zone refining), applications bijouterie, électronique, aérospatiale

## 13 / SÉCURITÉ CHIMIQUE ET GESTION DES RISQUES EN RAFFINERIE D'OR

Afriq'io Formation

- Manipulation des acides forts (HCl 37%, $HNO_3$ 68%, aqua regia) : EPI obligatoires (combinaison résistante aux acides, gants nitrile, lunettes-masque, appareil respiratoire), douches de sécurité et rince-œil
- Gestion des cyanures selon le Code ICMC : réception, stockage, dosage, destruction (procédés $SO_2$/air Inco, $H_2O_2$, Caro's acid), surveillance des effluents et seuils réglementaires (<0,1 mg/L CN WAD)
- Risques liés au chlore gazeux et aux vapeurs nitrées : détecteurs de gaz fixes et portables, hottes d'aspiration, scrubbers NaOH, procédures d'urgence et plans d'évacuation

### 14 / GESTION ENVIRONNEMENTALE ET CONFORMITÉ RÉGLEMENTAIRE

- Traitement des effluents liquides : neutralisation acide-base, précipitation des métaux lourds (chaux, sulfures), décantation, filtration et contrôle avant rejet selon normes IFC/World Bank
- Gestion des déchets solides : scories, boues anodiques, charbons usagés, catalogage selon codes de déchets dangereux, filières de valorisation ou élimination en centre agréé
- Systèmes de management intégrés : mise en conformité ISO 14001 (environnement), ISO 45001 (santé-sécurité), reporting RSE selon GRI et Responsible Gold Mining Principles du World Gold Council

## Approche pédagogique

- Support Ecrit et Projection
- Exposés Interactifs, Podcasts et Vidéos
- Brainstorming et Jeux de Rôle
- Mises en Situation pour faciliter l'assimilation
- Cas Pratiques et Labs inclus pour leur impact opérationnel
- Test de Validation des Acquis des Connaissances

## Prochaines dates programmées

| | |
|---|---|
| 23 Nov. au 04 Déc. 2026 | Présentiel - Casablanca |
| 15 au 26 Fév. 2027 | Présentiel - Casablanca |
| 12 au 23 Avr. 2027 | Présentiel - Casablanca |
| 07 au 18 Juin 2027 | Présentiel - Casablanca |
| 02 au 13 Août 2027 | Présentiel - Casablanca |

Autres dates possibles sur demande. Contactez-nous pour organiser une session intra-entreprise.

Afrique Formation

## Réservation & Renseignements

**Téléphone :** +212 522 247 210
**Email :** contact@afrique-formation.com
**Web :** https//www.afrique-formation.com


Afrique Formation — Tous droits réservés

Afrique Formation