

RÉALITÉS INDUSTRIELLES

« Se défier du ton d'assurance qu'il est si facile de prendre et si dangereux d'écouter »
Charles Coquebert, *Journal des mines* n°1, Vendémiaire An III (septembre 1794)



L'économie de l'or

UNE SÉRIE DES
ANNALES
DES MINES

FONDÉES EN 1794

NOVEMBRE 2018

Publiées avec le soutien de
l'Institut Mines-Télécom

L'économie de l'or

03

Introduction

Docteur Françoise ROURE

Trouver l'or et exploiter la mine

05

Les techniques d'exploration minière utilisées pour la recherche de l'or

Jérémy MELLETON, Éric FOURNIER et Éric GLOAGUEN

10

Les techniques et conditions d'exploitation des mines aurifères

Philippe MATHEUS

20

Satisfaire les besoins en énergie d'une mine d'or, la mine d'Essakane au Burkina Faso

Christophe FLEURENCE

25

Innovations in Mining Operator Efficiency Through Simulation Based Training Technologies and Processes

IMMERSIVE TECHNOLOGIES

30

Le financement des projets miniers aurifères : étapes, acteurs et critères de financement

Sylvain ECKERT

35

Commerce illicite de l'or artisanal en Afrique subsaharienne

Victoria REICHEL

Les usages industriels de l'or

40

La structure des marchés de l'or physique en 2018

Gaétan LEFEBVRE et Mathieu LEGUÉRINEL

45

Utilisation des nanoparticules d'or en catalyse

Delphine SCHAMING

49

L'or dans l'histoire et dans la civilisation, histoire et création artistique

Myriame MOREL-DELEDALLE et Jean-Roch BOUILLER

54

Mesurer l'or et assurer sa traçabilité depuis son origine ; métrologie des poudres et de l'or fondu

Laurent BAILLY, Anne-Marie DESAULTY, Philippe LACH, Wolfram KLOPPMANN et Isabelle DUHAMEL-ACHIN

*Cet article est précédé d'un avant-propos écrit par**Michèle ROUSSEAU, Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM)*

L'or monétaire et bancaire

60

Le marché de l'or et les réserves des banques centrales

Nathalie AUFAUVRE

66

La place de l'or dans l'épargne des Français et les moyens pour la mobiliser

François de LASSUS

72

Exotisme des pièces d'or et gouvernance des systèmes monétaires

Vincent BIGNON

76

De l'or monétaire à l'or financier

Tanguy AUBERT et Christian PFISTER

Hors Dossier

Ce hors-dossier se compose de deux articles se rattachant au numéro d'Août 2018, ayant pour titre : « Il y a dix ans la crise. La régulation financière et ses nouveaux enjeux. »

80

The Retreat from Systemic Risk Regulation: What Explains It? (and Why It Was Predictable)

John C. COFFEE, Jr.

91

Delegating Regulation: European Union and Financial Markets

Dr. Sharyn O'HALLORAN, Karen CHEN, Rudra M Guha BISWAS, Hoon KIM, Pu LIU, YouFei ZHANG and YunPeng ZHOU

112

Traductions des résumés

115

Biographies des auteurs

UNE SÉRIE DES
**ANNALES
DES MINES**

FONDÉES EN 1794

RÉALITÉS INDUSTRIELLES

Série trimestrielle • Novembre 2018

Rédaction

Conseil général de l'Économie, de l'Industrie,
de l'Énergie et des Technologies, Ministère de
l'Économie et des Finances
120, rue de Bercy - Télédocus 797 - 75572 Paris Cedex 12
Tél. : 01 53 18 52 68
<http://www.annales.org>

François Valérian

Rédacteur en chef

Gérard Comby

Secrétaire général

Delphine Mantiene

Secrétaire générale adjointe

Liliane Crapanzano

Relectrice

Myriam Michaux

Webmestre

Membres du Comité de Rédaction

Grégoire Postel-Vinay

Président du Comité de rédaction

Godefroy Beauvallet

Serge Catoire

Pierre Couveinhes

Jean-Pierre Dardayrol

Robert Picard

Françoise Roure

Bruno Sauvalle

Rémi Steiner

Christian Stoffaës

Claude Trink

François Valérian

Photo de couverture :

Granules d'or présentés par un ouvrier de la raffinerie du
Rand, la plus importante et la plus moderne raffinerie d'or
du monde située à Germiston, Afrique du Sud,
Photo © Landov/MAXPPP

Iconographie

Christine de Coninck

Abonnements et ventes

COM & COM

Bâtiment Copernic - 20 Avenue Edouard Herriot
92350 LE PLESSIS ROBINSON

Alain Bruel

Tél. : 01 40 94 22 22 - Fax : 01 40 94 22 32

a.bruel@cometcom.fr

Mise en page : Nadine Namer

Impression : Printcorp

ISSN : 1148-7941

Editeur Délégué :

FFE - 15 rue des Sablons - 75116 PARIS - www.ffe.fr

Régie publicitaire : Belvédère Com

Fabrication : Aïda Pereira

aida.pereira@belvederecom.fr - Tél. : 01 53 36 20 46

Directeur de la publicité : Bruno Slama

Tél. : 01 40 09 66 17

bruno.slama@belvederecom.fr

La mention au regard de certaines illustrations du sigle
« D. R. » correspond à des documents ou photographies
pour lesquels nos recherches d'ayants droit ou d'héritiers se
sont avérées infructueuses.

Introduction

Par Dr. Françoise ROURE

L'or est depuis des temps immémoriaux chargé symboliquement d'une valeur incommensurable entre, d'une part, celle qui lui est attribuée au plan fiduciaire et, d'autre part, celle qui résulte de l'usage de cette matière pour ses propriétés physico-chimiques et sa biocompatibilité, pour son potentiel technique aux échelles macro, micro et nanométrique, dans l'art et les civilisations. Présent dans les processus industriels et énergétiques, ainsi que dans les applications de santé, l'or est produit à plus de 3 000 tonnes par an, le stock d'or extrait et transformé étant estimé à 180 000 tonnes.

S'intéresser à l'or – cette « relique barbare », selon John Maynard Keynes⁽¹⁾ –, et plus particulièrement à l'économie de l'or au XXI^e siècle, pourrait paraître désuet depuis que l'application des accords de Bretton Woods relatifs au système financier international post Seconde Guerre mondiale s'est achevée le 15 août 1971, avec la fin de la convertibilité du dollar – la monnaie dite de réserve du XX^e siècle – en or.

Pourtant, la quête aliénante de l'or, synonyme d'éternité, de pouvoir et de puissance, est toujours vivace au XXI^e siècle, avec un mélange d'attraits à la fois alchimique, magique, festif, rituel et démonstratif, un imaginaire signifié dans les arts et les bijoux, mais aussi, plus prosaïquement, un bel et bon *nerf* historique de la guerre et de son anticipation à travers les comportements d'épargne de précaution des ménages.

Du côté monétaire et financier, la valeur de l'or s'élève avec l'anticipation de chocs tels que l'hyperinflation, les taux d'intérêt négatifs ou encore une évolution défavorable du régime fiscal. Alan Greenspan, ancien président de la Federal Reserve américaine, considère l'or comme la devise primaire mondiale, parce que c'est la seule qui ne nécessite aucune signature en contrepartie⁽²⁾. Toutefois, toutes les transactions sur l'or ne sont plus aujourd'hui nécessairement liées à la propriété de l'or physique, c'est notamment le cas sur le marché des Exchange Trade Funds (ETFs) sur l'or – ou fonds d'or ETF –, qui, depuis 2004 (date de leur création), ont pour finalité de faciliter l'accès au marché de l'or à des investisseurs souhaitant diversifier leurs actifs sans prendre livraison de l'or physique. De ce fait, l'or auquel ces marchés sont adossés ne peut pas être considéré comme une véritable valeur refuge en cas de crise généralisée.

Du côté de l'or-matière, la Chine, avec 450 tonnes par an, est devenue depuis 2017 le premier producteur d'or, loin devant l'Australie, la Russie, les États-Unis, l'Afrique du Sud et le Mexique. Le recyclage des produits électroniques peine à apporter une contribution significative à l'offre d'or, dans un marché caractérisé par la croissance de la demande des banques centrales qui étoffent la part de leurs réserves en or depuis la crise financière de 2008. Pour l'Union européenne, 27 % des réserves de la Banque centrale européenne (BCE) étaient en or, en 2016. La demande privée d'or physique reste soutenue, et ce plus à des fins d'épargne de précaution que spéculatives, qu'il s'agisse ou non de joaillerie. Celle-ci représente, selon le Conseil mondial de l'or (World Gold Council), de l'ordre de 50 % de l'usage d'or physique, pour une valeur estimée à 3,6 trillions de dollars pour 90 000 tonnes. Les réserves officielles publiques des banques centrales sont, en comparaison, de l'ordre de 1,2 trillion, les pièces et lingots étant d'un montant comparable. Les fonds d'or ETF représentent, quant à eux, un marché de 86 milliards de dollars pour un stock de l'ordre de 2 430 tonnes en mai 2018, avec un acteur privé dominant qui détient un stock avoisinant les 1 500 tonnes.

Enfin, une estimation de l'or physique non comptabilisé lui attribue une part de marché de l'ordre de 15 %, avec une quantité qui tendrait vers les 30 000 tonnes, ce qui met en lumière l'exploitation et les trafics illicites de l'or, favorisés par l'anonymat des transactions et la pratique du blanchiment. Les circuits parallèles prospèrent en l'absence d'une norme internationale de traçabilité bien définie qui permettrait d'identifier l'origine de l'or. Cette situation facilite tous les abus, en matière d'exploitation humaine, environnementale, d'évasion fiscale et de financement d'activités illégales, voire criminelles. Les productions non comptabilisées auraient pour origine certains pays d'Afrique subsaharienne, comme la Côte d'Ivoire, le Mali et le Burkina Faso, ou encore la République démocratique du Congo avec sa province Nord Kivu. Des filières de production et de commercialisation existent également dans des pays de la région des Grands Lacs, au Rwanda et en Ouganda notamment. La traçabilité de l'or est ainsi devenue un enjeu fort, auquel s'attèle, en France, l'établissement public qu'est le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), en développant, en partenariat avec le WWF⁽³⁾, une approche scientifique et technique issue de ses connaissances et de son savoir-faire en tant que service géologique national.

(1) Citation : "In truth, the gold standard is already a barbarous relic", A Tract on Monetary Reform, John Maynard KEYNES, London, Mac Millan & Co., 1924, p. 172.

(2) Gold Investor, February 2017, p. 12.

(3) WWF : World Wide Fund for Nature.

Les valeurs attribuées à l'or fluctuent avec les variations du cours du lingot. Le prix de référence de l'or, traditionnellement fixé par enchères à Londres, est aujourd'hui fortement influencé par le Shanghai Gold Exchange (SGE) qui fixe le SHAU, l'unité de cotation exprimée en yuan par gramme, l'unité de négoce étant le kilogramme. La Chine, premier utilisateur mondial de l'or, déploie sur le long terme une stratégie systématique de substitution du yuan au dollar dans les transactions internationales portant sur les matières premières, les métaux critiques et les terres rares, le pétrole et l'or, et ce de manière plus soutenue depuis 2017. Ainsi Jiao Jinpu, le président du SGE, a-t-il annoncé la préparation d'« un fonds de développement du marché de l'or de la nouvelle route de la soie afin de promouvoir nos contrats or en yuans et d'encourager les acteurs à développer davantage de scénarios et de produits dérivés ⁽⁴⁾ ».

L'attitude au regard du marché des pièces et des lingots varie considérablement selon la fiscalité. C'est le cas par exemple entre la France et l'Allemagne : ainsi, le marché allemand de l'or-investissement représente 120 tonnes par an, contre seulement 9 en France. Cela s'explique par le fait qu'à taux d'épargne comparable (17 % en Allemagne, 14 % en France), contrairement à la France, l'Allemagne ne taxe pas les ventes d'or sous forme de pièces, de lingotins ou de lingots, sauf si une plus-value spéculative est réalisée dans l'année...

Ce numéro des Annales des Mines documente, dans un premier temps, les techniques d'exploration et d'exploitation des mines d'or, mettant en relief les contraintes physiques et financières auxquelles elles sont soumises, mais aussi les avancées scientifiques et techniques permettant de progresser vers une mine plus responsable, notamment en termes de sécurité des personnes. Trouver et exploiter la mine constituent en effet la première étape vers l'usage de l'or. Sans ces progrès vers une mine plus responsable, toute mise en œuvre d'un tel projet de société est source de difficultés suscitant inévitablement des débats publics. Ainsi la gestion de l'après-mine doit-elle être dorénavant formalisée dès la préparation du projet, une exigence environnementale explicite s'appliquant à tout le territoire français, sous peine de rejet par les riverains et les populations concernés.

L'industrie et les marchés de l'or physique sont présentés dans la seconde partie de ce numéro, avec une analyse de la structure des marchés de l'or physique réalisée à partir de Minéralinfo, l'outil de veille du BRGM, et de quelques exemples d'application notamment en matière d'applications industrielles innovantes de la catalyse, ou encore d'art et de culture.

La troisième et dernière partie illustre l'or monétaire et financier à travers le comportement d'épargne des ménages, le rôle des banques centrales dans la régulation des marchés et l'importance de l'or dans l'économie.

Cette diversité de témoignages permettra au lecteur de se convaincre que l'or représente au-delà de son poids symbolique et de la valeur-refuge que nous lui prêtons, toute une économie réelle, depuis l'exploration minière jusqu'à ses multiples emplois industriels et commerciaux.

(4) Shanghai Daily du 16 octobre 2017.

Les techniques d'exploration minière utilisées pour la recherche de l'or

Par Jérémie MELLETON

Éric FOURNIER

et Éric GLOAGUEN

Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM)

L'or est un métal précieux et sidérophile généralement présent en très faible concentration (de l'ordre du ppb) dans des roches de la croûte continentale terrestre. Les processus métallogéniques à l'origine de la formation de gisements économiquement exploitables, principalement par le biais de circulations hydrothermales, peuvent parfois atteindre des taux d'enrichissement de l'ordre de 10 000. La classification des gisements d'or est complexe, mais les connaissances acquises sur les principaux types permettent d'élaborer des guides servant à leur recherche, tenant compte notamment de leurs contextes géologiques particuliers, des altérations accompagnatrices ou de leurs signatures géochimiques spécifiques. Les approches d'exploration reposent sur la géologie, la géochimie et la géophysique. Aujourd'hui, le Canada, l'Australie, l'Amérique latine et l'Afrique concentrent les efforts d'exploration.

Introduction

Comme pour toute substance métallique, l'exploration, premier stade de la recherche d'un gisement d'or économiquement exploitable, repose sur une succession d'étapes permettant de se focaliser sur une ou des cibles minières, partant d'une ou de plusieurs occurrences minérales favorables pour aller vers des concentrations suffisamment élevées et techniquement exploitables pour permettre l'ouverture d'une mine. Ainsi, la phase d'exploration, qui correspond à l'acquisition de données de plus en plus fines, débute par le stade du prospect à partir de quelques occurrences aurifères identifiées. La phase suivante a pour but de définir une enveloppe minéralisée (ressource) par l'estimation du tonnage et de la teneur possibles à partir d'une connaissance large, reposant sur une représentation du gisement en trois dimensions réalisée grâce à des sondages. Enfin, l'exploration s'achève avec la définition des corps minéralisés (réserve) dont le tonnage et la teneur sont prouvés grâce à la réalisation d'une étude complète de faisabilité qui démontre, entre autres, que l'or peut être extrait du minerai pour un coût qui rend le projet rentable économiquement. Même après l'ouverture d'une mine, l'activité d'exploration est généralement maintenue dans le but d'augmenter les ressources et les réserves, ainsi que la durée de vie de l'exploitation.

Avant d'engager la phase d'exploration *stricto sensu*, le choix est fait d'une zone plus ou moins large à prospecter qui repose sur les connaissances disponibles sur la métallogénie de l'or (c'est-à-dire des processus géolo-

giques formant les gisements) et sur les différentes données disponibles dans la littérature (contexte géologique, historique minier). La concaténation de ces informations, qui peut aussi être réalisée par le biais d'une approche de favorabilité s'appuyant sur différentes méthodes probabilistes, permet d'identifier des zones présentant des caractères géologiques susceptibles d'être propices à la présence du type de gisement recherché. Ces dernières années, les méthodes numériques d'analyse et de traitement des données massives (« *big data mining* ») ont pris une place de plus en plus importante dans cette phase de recherche et de choix de cibles, notamment dans les districts historiquement connus (exploration « *brownfield* » des Anglo-Saxons).

La seconde étape consiste en la mise en œuvre d'une succession de méthodes d'exploration, basées sur la géologie, la géophysique et la géochimie. Il n'en demeure pas moins que la majorité des découvertes réalisées reposent sur une compréhension géologique des gisements, aussi bien pour des environnements miniers historiques que pour des secteurs vierges (SILLITOE et THOMPSON, 2006).

Où trouver l'or ?

Généralités et propriétés chimiques de l'or

Élément chimique de symbole Au et de numéro atomique 79, l'or est un métal noble (il est résistant à la corrosion et à l'oxydation). Un seul isotope naturel (^{197}Au) est connu. L'or est un élément sidérophile et modérément volatil.



Photo © A©Emile LUIDER/REA Instructions

Super Pit, mine d'or à ciel ouvert située près de Perth, Australie occidentale.

« Comme pour toute substance métallique, l'exploration, premier stade de la recherche d'un gisement d'or économiquement exploitable, repose sur une succession d'étapes permettant de se focaliser sur une ou des cibles minières, partant d'une ou de plusieurs occurrences minérales favorables pour aller vers des concentrations suffisamment élevées et techniquement exploitables pour permettre l'ouverture d'une mine. »

Son état d'oxydation le plus commun est 0, mais il peut aussi varier de -I à +IV, Au(I) et Au(III) étant les deux états d'oxydation majoritaires. Cette propriété lui permet de pouvoir former plusieurs composés. Les ions aureux monovalents Au(I) et trivalents auriques Au(III) ne sont en effet pas des états connus sous la forme aqueuse. En solution, l'or est donc présent sous forme de différents complexes : par exemple, $[AuHS]^-$, $[Au(CN)_2]^-$, $[AuCl_2]^-$, $[AuCl]^\ominus$, $[Au(OH)_4]^-$, $[AuCl_4]^-$, $[Au(NH_3)_2]^+$ (BOYLE, 1979 ; BENEDETTI, 1989).

Quelques grands traits géochimiques de l'or

En contexte hydrothermal, la solubilité de l'or est contrôlée soit par des complexes sulfurés, soit par des complexes chlorurés, en fonction des conditions des milieux dans lesquels on le trouve (température, acidité, concentrations importantes en Cl ou H_2S et HS). Aussi, la précipitation de sulfures à partir d'une solution suite à des changements de conditions physico-chimiques entraîne généralement la précipitation contemporaine de l'or. Pour la plupart des gisements, celui-ci précipite à partir de fluides hydrothermaux riches en sulfures présentant des températures supérieures à 200 °C (PHILIPPS et EVANS, 2004). Une forte concentration du CO_2 dans le fluide, liée aux réactions métamorphiques de décarbonatation ou du dégazage

du manteau, contrôle aussi fortement la solubilité de l'or (tamponnage du pH). Dans des contextes supergènes, l'or présente une bonne affinité avec la matière organique, il peut ainsi se retrouver un peu enrichi dans des roches en présentant une forte proportion, comme dans le cas des schistes noirs.

L'or se trouve le plus souvent à l'état natif, mais on peut aussi le trouver sous la forme d'un alliage, principalement avec l'argent (il forme ainsi l'électrum), voire éventuellement le cuivre ou les métaux du groupe du platine. Il peut aussi être présent dans d'autres minéraux, comme des tellurures, des séléniures, des antimoniures ou des bismuthiures. L'Association internationale de minéralogie (IMA) reconnaît ainsi l'existence de trente-quatre espèces minérales porteuses d'or.

Les teneurs en or rencontrées dans les roches sont généralement très basses. Ainsi, les concentrations varient de 0,05 à 20 ppb dans les roches ignées, sédimentaires ou métamorphiques non minéralisées (PITCAIRN, 2011). À une échelle plus globale, la valeur moyenne pour la croûte continentale supérieure est de 1,5 ppb (ng/g), celle de la croûte moyenne est de 0,85 ppb et est de 1,6 ppb pour la croûte inférieure (RUDNICK et GAO, 2003). De plus, les chondrites contenant cent fois plus d'or que la croûte

continentale moderne, certains auteurs en ont conclu que la plus grande part de l'or sur Terre s'est concentrée dans le noyau au cours de la différenciation de la Terre primitive (McDONOUGH et SUN, 1995 ; WOOD *et al.*, 2006). Les concentrations en or diminuent systématiquement avec l'accroissement du degré de métamorphisme (PITCAIRN, 2011), ce qui souligne l'importance des processus métamorphiques dans la mobilisation de l'or. Ainsi, les sources de l'or sont attribuées à des metabasaltes et/ou à des métasédiments (PITCAIRN *et al.*, 2015) desquels l'or est libéré par les fluides issus des réactions métamorphiques lors du passage du faciès schiste vert au faciès amphibolite (augmentation de la pression et de la température). Ces fluides sont ensuite drainés et focalisés par des failles d'échelle crustale et piégés dans les lithologies qui permettent la réduction des complexes aurifères (PHILLIPS et POWELL, 2010). Ces processus se dérouleraient principalement dans les zones de convergences ayant impliqué la subduction d'une croûte océanique, c'est le modèle « or orogénique » (GROVES et SANTOSH, 2016).

Les gisements d'or exploités peuvent aujourd'hui présenter des teneurs inférieures à 3 g/t (BRADY, 2017), même si localement les valeurs atteintes peuvent être comprises entre 30 et 100 g/t, ce qui implique des processus métallogéniques permettant des enrichissements de 100 à 10 000 fois (FRIMMEL, 2008).

Les principaux types de gisements d'or

L'or est présent dans un large spectre de types de gisements. Pour cette contribution, nous nous en tiendrons aux types présentant le plus d'intérêt sur le plan économique. La classification des gisements d'or est un exercice complexe, et dans certains cas elle est encore discutée (ROBERT *et al.*, 2007). En effet, elle intègre des paramètres divers comme l'environnement géologique de formation (par exemple, des gisements de type « orogénique », la roche hôte (par exemple, le type « *sediments hosted* »), une association paragenétique (par exemple, du type IOCG – Iron Oxyde Copper-Gold) ou une localité type (le type « Carlin »). On peut cependant identifier des gisements d'or de façon plus simple, ce peut être des gisements formés par des fluides issus de réactions métamorphiques (or orogénique *lato sensu*) ou des gisements génétiquement associés à du magmatisme principalement felsique (intrusions, porphyres, carlin, épithermaux).

Robert *et al.* (2017) distinguent les principaux types de gisements parmi les 103 gisements les plus importants (ceux dont les réserves sont supérieures à 10 millions d'onces, soit 283 tonnes) :

- Les gisements de type orogénique (GROVES *et al.*, 2016), que l'on trouve dans les contextes de collision entre deux plaques lithosphériques. Ces gisements se présentent généralement sous la forme de veines de quartz et de carbonates ou de disséminations de ces mêmes minéraux, en association avec des sulfures comme la pyrite ou l'arsénopyrite. Le contexte structural constitue l'élément majeur du contrôle de la mise en place de la minéralisation, notamment les zones de cisaillement. Plusieurs sous-types sont décrits selon les

roches encaissantes : les roches vertes, principalement des domaines archéens ou protérozoïques, les sédiments détritiques de type turbidite⁽¹⁾, et les formations de fers rubanés (BIF).

- Les gisements associés aux intrusions magmatiques réduites (différents sous-types en fonction de la profondeur de mise en place et des caractéristiques des zones de convergence lithosphérique) ou oxydées. Les gisements associés à ce dernier type sont symptomatiques des contextes d'arcs volcaniques : ils comprennent les porphyres⁽²⁾, les skarns⁽³⁾ et les épithermaux qui correspondent à des gisements formés à des profondeurs proches de la surface (< 1,5 km) dans des arcs volcaniques.
- Les gisements de type Carlin (Nevada, États-Unis) : une dissémination de l'or dans des calcaires ou siltites décalcifiés dans des contextes de marges continentales passives. L'or est généralement inclus dans le réseau de la pyrite.
- Les gisements de type Witwatersrand (Afrique du Sud), qui constituent les plus grosses réserves mondiales et ont entraîné la construction des mines les plus profondes du monde (près de quatre kilomètres de profondeur pour la mine de Mponeng) et correspondraient à des paléoplacers⁽⁴⁾ métamorphisés et localisés dans des bassins bordés de failles.
- Les amas sulfurés aurifères, dans des environnements d'arrière-arcs ou de ceintures de roches vertes.

Sans entrer dans le détail de ces différents types de gisements, il est néanmoins possible de distinguer différents contextes géologiques favorables à leur formation. Cette connaissance pourra ainsi guider les prospecteurs dans leur recherche d'une zone propice à la découverte d'un gisement. Les altérations et signatures géochimiques typiques pourront constituer les principaux critères de leur recherche.

D'un point de vue économique, les gisements de type Witwatersrand représentent les ressources les plus importantes. Ils sont suivis par les gisements associés aux intrusions magmatiques oxydées, notamment les porphyres et les skarns.

Les méthodes d'exploration

Les méthodes d'exploration géologique

Les méthodes d'exploration géologique reposent principalement sur la recherche sur le terrain, par un géologue prospecteur, de signes pouvant indiquer la présence d'une occurrence minéralisée. Il s'agit dans ce cas, à partir d'itinéraires préparés, d'étudier les affleurements, les éboulis

(1) Roche sédimentaire détritique mise en place sous l'effet de l'écoulement des sédiments le long d'une pente sous-marine.

(2) Roche magmatique caractérisée par des cristaux de grandes tailles (feldspath) dans une matrice beaucoup plus fine.

(3) Roche issue de la transformation d'une roche carbonatée au contact d'une intrusion magmatique.

(4) Un placer est un gisement issu d'un processus de concentration minérale détritique dans des sédiments alluviaux par des eaux courantes.

et les volantes afin d'y déceler d'éventuels marqueurs de minéralisations. Ces marqueurs peuvent correspondre à la présence d'or natif, de pyrite et/ou d'arsénopyrite, à la présence d'un système de veines de quartz dans un contexte favorable ou de signes d'altération d'origine hydrothermale (transformation localisée d'une roche encaissante associée à une structure particulière). On fait référence ici à la silicification, à la carbonatation, à la sulfuration ou encore à la présence d'une tourmalinite⁽⁵⁾. Cette approche est généralement mobilisée après la mise en évidence d'une anomalie géochimique ou géophysique.

En parallèle, la cartographie géologique pourra permettre d'affiner les connaissances sur les lithologies et structures présentes sur la zone d'étude.

Une autre méthode est la prospection alluvionnaire, qui consiste en la recherche de minéraux indicateurs ou d'or dans les sédiments de cours d'eau. Le prospecteur utilise dans ce but une batée d'orpaillage pour concentrer les minéraux lourds en vue de procéder à une étude minéralogique plus poussée en laboratoire. Généralement, cette approche est mise en œuvre parallèlement à la prospection géochimique sur sédiments de ruisseaux, en réalisant un échantillonnage systématique sur la base d'une grille prévue à l'avance pour obtenir une représentativité cohérente des bassins versants.

Lorsqu'une minéralisation est identifiée, celle-ci fera par la suite l'objet de sondages dans le but de réaliser des échantillonnages et d'en étudier la géométrie. La répétition de ces sondages, qui peuvent être couplés à des approches géophysiques, permettra de définir d'abord des ressources, puis des réserves.

Les méthodes d'exploration géochimique

Les méthodes d'exploration géochimique consistent en l'échantillonnage d'un média et en l'analyse chimique de celui-ci en vue de mettre en évidence des concentrations anormales pouvant indiquer la présence de minéralisations. La substance recherchée étant rarement seule dans les occurrences minéralisées, le spectre d'éléments analysés est généralement large et comprend les potentiels accompagnateurs de la substance d'intérêt. Dans le cas de l'or, il peut s'agir, par exemple, de l'arsenic, du sélénium, de l'antimoine, de l'argent ou du tellure. Les développements analytiques permettent aujourd'hui d'analyser en routine des éléments présents à des teneurs extrêmement faibles, de l'ordre du ppb.

À large maille d'échantillonnage, les échantillons sont généralement des sédiments de ruisseaux ou de fond de vallon, voir des tills⁽⁶⁾ ou de l'eau de source, de rivière ou de l'eau souterraine.

Sur des surfaces d'investigation plus restreintes, le média est le plus souvent un sol. Mais de bons résultats ont pu aussi être obtenus à partir de végétaux ou de gaz.

L'analyse des échantillons est communément réalisée par spectrométrie de masse à partir d'une dissolution totale ou quasi totale de l'échantillon. Depuis le début des années 2000, les méthodes d'extraction sélective sont néanmoins de plus en plus utilisées, notamment du fait qu'elles per-

mettent d'évaluer le porteur minéralogique des éléments et donc d'extrapoler les processus à l'origine des anomalies observées. Un effort de recherche est mené depuis plusieurs années pour développer ces approches dans le but de mettre en évidence des minéralisations localisées plus profondément, notamment sous couverture allochtone. Les analyses réalisées directement sur site, principalement à l'aide d'analyseurs portables XRF, sont aussi de plus en plus utilisées. Cependant, cet appareillage ne permet pas de mesurer les très faibles concentrations d'or généralement présentes. Il se révèle en revanche beaucoup plus efficace pour mettre en évidence certains accompagnateurs, comme l'arsenic.

Les méthodes d'exploration géophysique

L'or n'a pas de signature géophysique particulière directement détectable. La mise en œuvre des méthodes géophysiques correspond donc à l'utilisation d'outils indirects et vise à modéliser des structures géologiques ou des altérations. Les méthodes utilisées sont principalement des méthodes magnétiques ou électriques (résistivité et polarité induite).

Les méthodes géophysiques peuvent être appliquées en mode aéroporté ou au sol. La miniaturisation des capteurs devrait permettre à assez court terme le développement de l'utilisation des drones.

Les concentrations importantes en sulfures comme la pyrrhotite ou d'autres minéraux magnétiques, comme la magnétite, peuvent induire des variations détectables du champ magnétique terrestre. Des concentrations métalliques ou la présence de discontinuités peuvent aussi provoquer des anomalies de résistivité ou un délai de restitution face à un courant électrique.

La gravimétrie fournit aussi des informations importantes sur la géométrie et les structures pouvant porter des minéralisations, ainsi que sur les altérations.

La cartographie hyperspectrale donne de bons résultats pour la mise en évidence des altérations. Cette technique combine imagerie et spectroscopie par l'acquisition d'images sur un très grand nombre de bandes, allant du visible à l'infrarouge.

En outre, les grandes avancées réalisées récemment en géophysique portent sur les processus de traitement des données : ce sont notamment les méthodes d'inversion qui permettent la visualisation en 3D des résultats. Les méthodes électriques ont particulièrement bénéficié de ces avancées.

L'exploration de l'or : qu'en est-il aujourd'hui ?

D'après S&P Global Market Intelligence, le budget global attribué à l'exploration de l'or aurait été en 2017 d'environ 3,6 milliards d'euros, ce qui est en nette augmentation par

(5) Roche issue du remplacement des feldspaths et biotites par la tourmaline suite à une altération par un fluide hydrothermal.

(6) Roche sédimentaire détritique issue du dépôt du matériel transporté par les glaciers.

rapport à 2016. Ces budgets ont été majoritairement investis au Canada (600,6 M€), en Australie (562,6 M€), en Amérique latine (936,0 M€) et en Afrique (584,8 M€). Ces investissements concernent majoritairement des sites miniers actifs ou interviennent dans les derniers stades de l'exploration et de l'étude de faisabilité. Pour près des deux tiers, ces investissements sont financés par les compagnies dites majors.

Références bibliographiques

BENEDETTI M. (1989), « Géochimie de l'or : mécanismes de transport et dépôt », thèse de l'Université Pierre et Marie Curie, Paris, 150 p.

BOYLE R. W. (1979), "The geochemistry of gold and its deposits (together with a chapter on geochemical prospecting for the element)", *Bulletin de la Commission géologique du Canada* 280, 20 p.

BRADY T. (2017), "Thoughts on global gold mine supply", *Gold Investor*, september, pp. 26-29.

GROVES David I. & SANTOSH M. (2016), "The Giant Jiaodong gold province: The key to a unified model for orogenic gold deposits?", *Geoscience Frontiers*, Special Issue: Giant Mineral Deposits 7, pp. 409-417.

FRIMMEL H. E. (2008), "Earth's continental crustal gold endowment", *Earth and Planetary Sciences Letters* 267, pp. 45-55.

McDONOUGH W. F. & SUN S.-S. (1995), "The composition of the Earth", *Chemical Geology* 120, pp. 225-253.

PHILLIPS G. N. & EVANS K. A. (2004), "Role of CO₂ in the formation of gold deposits", *Nature* 429, pp. 860-863.

PHILLIPS G. N. & POWELL R. (2010), "Formation of gold deposits: a metamorphic devolatilization model", *Journal of Metamorphic Geology* 28, pp. 689-718.

PITCAIRN I. K., OLIVO G. R., TEAGLE D. A. H. & CRAW D. (2010), "Sulfide Evolution during Prograde Metamorphism of the Otago and Alpine Schists", New Zealand, *The Canadian Mineralogist* 48, pp. 1267-1295.

PITCAIRN I. K., CRAW D. & TEAGLE D. A. H. (2015), "Metabasalts as Sources of Metals in Orogenic Gold Deposits", *Mineralium Deposita* 50, pp 373-390.

ROBERT F., BROMMECKER R., BOURNE B. T., DOBAK P. J., McEWAN C. J., ROWE R. R. & ZHOU X. (2007), "Models and Exploration Methods for Major Gold Deposit Types", Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration, pp. 691-711.

RUDNICK R. L. & GAO S. (2003), *Composition of the Continental Crust. Treatise of Geochemistry*, 3, pp. 1-64.

SILLITOE R. H. & THOMPSON J. F. H. (2006), "Changes in mineral exploration practice: consequences for discovery", *Society of Economic Geologists*, Special Publication, 12, pp. 193-219.

WOOD B. J., WALTER M. J. & WADE J. (2006), "Accretion of the Earth and segregation of its core", *Nature* 441, pp. 825-833.

Les techniques et conditions d'exploitation des mines aurifères

Par Philippe MATHEUS

Compagnie minière de Boulanger (CMB)

Après avoir situé l'or et son exploitation dans leur contexte historique, nous passerons en revue les différentes techniques d'exploitation minière. Les méthodes de traitement des minerais applicables à l'or seront ensuite exposées avant que soit présenté un focus sur l'exploitation des mines aurifères de Guyane.

Préambule

L'exploitation minière consiste à extraire des minerais, c'est-à-dire des roches de la croûte terrestre contenant des minéraux ou des métaux utiles en proportion suffisamment intéressante pour justifier leur exploitation. Dans cet article, il est question de l'or, dont le symbole chimique est Au.

Deuxième matière métallique (après le cuivre) à avoir été découverte par l'Homme, l'or est un métal qui, de tout temps, n'a cessé de fasciner, d'attiser les convoitises et de déchaîner les passions.

Les premières exploitations aurifères connues et décrites sont celles qui eurent lieu en Égypte, cinq millénaires avant notre ère. L'une des premières cartes minières de l'histoire de l'humanité est probablement celle représentant les mines d'or souterraines dans l'Ouadi Hammamat (une zone se situant entre Louxor et la mer Rouge). Datant de 1150 avant J.-C, elle est exposée au Museo Egizio de Turin (Italie).

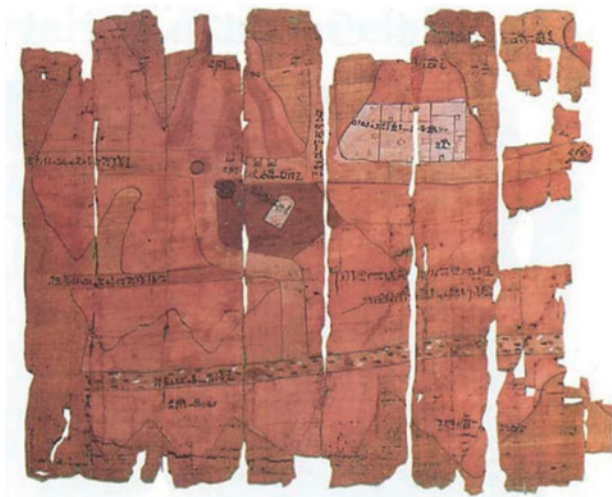


Figure 1 : La carte minière d'Ouadi Hammamat.

Depuis ces temps reculés, l'activité minière n'a cessé de progresser et de s'adapter aux défis auxquels elle a dû faire face. Les méthodes d'extraction et de traitement des minerais n'ont cessé d'évoluer, mobilisant pour ce faire toutes les ressources de la recherche et développement.

De nouveaux modèles miniers basés sur les progrès considérables réalisés en matière de sécurité, de protection de l'environnement, de mécanisation et de numérisation ont au fil du temps vu le jour.

Les techniques d'exploitation des mines aurifères

La phase d'exploitation d'une mine correspond à la période durant laquelle on extrait le minerai pour valoriser le métal (ou les métaux) commercialisable(s) qu'il contient. Elle peut se poursuivre sans interruption sur une longue période pouvant aller de plusieurs années à quelques décennies.

Elle comprend aussi bien l'extraction et le traitement du minerai que les activités connexes.

L'extraction du minerai

Pour l'extraction des minerais d'or, les deux principales techniques utilisées sont :

- la mine souterraine,
- et la mine à ciel ouvert.

Le choix du type de mine dépend de différents facteurs, tels que la profondeur du gisement, sa géométrie, son contexte géologique et géomorphologique, son empreinte au sol et les coûts d'extraction.

La mine souterraine

L'exploitation d'une mine souterraine consiste à extraire le minerai d'un gisement à partir de puits et de galeries créés sous la surface du sol, sans qu'il soit nécessaire d'enlever l'intégralité des matériaux stériles qui le surmontent. Dans les mines souterraines, on pratique une extraction plus sélective comparativement à celle opérée dans les

mines à ciel ouvert, le rapport entre le volume de stériles et le volume de minerai extrait y est d'ailleurs beaucoup moins élevé.

Les stériles sont souvent utilisés en tant que matériau de remblayage pour servir au renforcement des parois et plafonds des excavations souterraines. Les stériles qui ne servent ni à la construction ni au remblayage sont remontés à la surface pour y être entreposés.

Pour une exploitation souterraine, une quantité minimale de morts-terrains est donc enlevée pour accéder au gisement ; elle correspond aux travaux d'ossature, par exemple, des rampes, des descenderies, des galeries, des puits...

Ces derniers permettent d'accéder au minerai et de mettre en place toutes les infrastructures nécessaires pour assurer l'aération, l'exhaure, l'accès du personnel et l'évacuation du minerai.

La Figure 2 ci-dessous présente une coupe transversale typique d'une mine souterraine.

Les fondations du chevalement du puits principal reposent sur les morts-terrains, il abrite le skip qui sert de monte-charge. Le fond du puits sert de puisard.

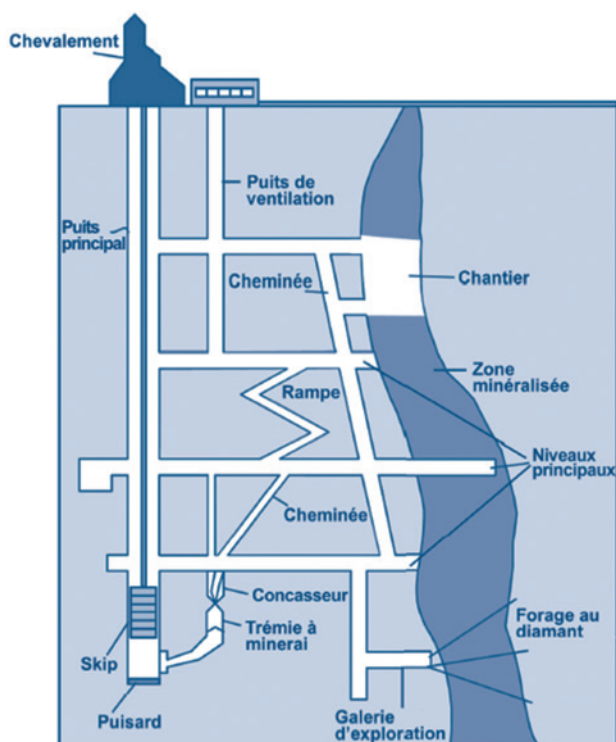


Figure 2 : Coupe transversale d'une mine souterraine (d'après « Code de pratiques écologiques pour les mines de métaux », gouvernement du Canada).

À différentes profondeurs de la mine, des galeries horizontales sont creusées qui permettent d'atteindre la zone minéralisée ou d'accéder aux chantiers.

Des rampes d'accès sont utilisées pour atteindre les différents niveaux d'exploitation. Le minerai peut être envoyé vers un concasseur souterrain pour y être fractionné, avant d'être stocké dans la trémie à minerai. Des galeries

d'exploration sont creusées pour échantillonner, à l'aide de forages, les zones minéralisées se situant plus en profondeur.

Un puits de ventilation conduisant à la surface permet un apport d'air frais.

Résumé des principaux avantages et caractéristiques/inconvénients d'une mine souterraine

- Un taux de roche excavée souvent moindre que pour une mine à ciel ouvert ;
- Une teneur de la minéralisation variant de modérée à très haute ;
- Une profondeur allant de 200 à 3 000 m (voire plus) ;
- Un investissement généralement plus élevé que celui nécessaire dans les mines à ciel ouvert ;
- Une étendue de l'opération en surface plus faible (d'où une réduction de l'impact environnemental) ;
- Une récupération possible de la roche stérile pour servir au remblayage souterrain (une diminution des rejets à la surface) ;
- Des coûts de production à la tonne généralement plus élevés que ceux des mines à ciel ouvert ;
- Un échancier de mise en production plus long ;
- Des risques plus élevés.

La mine à ciel ouvert (MCO)

L'exploitation à ciel ouvert (MCO ou *open pit*) est la méthode privilégiée pour extraire le minerai de gisements situés près de la surface (typiquement entre 0 et 400 m de profondeur) ; le coût par tonne de minerai extrait est généralement inférieur à celui du minerai extrait en recourant à des méthodes souterraines.

Le choix de la méthode à ciel ouvert porte sur :

- les possibilités d'extension de la fosse (en hauteur (ou en profondeur), en longueur et en largeur) ;
- la géométrie des flancs, en gradins plus ou moins hauts et pentus, en banquettes plus ou moins larges, avec pour objectifs de limiter le volume des stériles et d'assurer la stabilité des pentes.

On distingue classiquement, selon la disposition des zones minéralisées :

- l'exploitation en découverte (pour des gisements stratiformes, peu profonds et s'étendant sur une grande surface horizontale) ;
- l'exploitation en fosse (lorsque le gisement s'enfonce dans le sous-sol et présente une extension latérale réduite).

Pour les minerais d'or, c'est l'exploitation en fosse qui est la règle.

Les exploitations à ciel ouvert requièrent généralement le recours à des engins de chantier aux gabarits « hors normes », comme ceux que l'on peut rencontrer dans certaines grosses carrières ou exploitations de granulats (pelles hydrauliques, dumper, chargeuses de fort gabarit).

La constante amélioration technologique de ces engins et leur adaptation aux méthodes d'extraction actuelles ont été des éléments déterminants dans le choix du type d'exploitation le plus adapté. C'est ainsi que de plus en plus de mines sont exploitées à ciel ouvert en raison des progrès réalisés sur ce type de matériels et de leur capacité de chargement, qui permettent d'abaisser les coûts d'exploitation de ces mines.

La Figure 3 ci-dessous décrit le schéma d'une exploitation à ciel ouvert en fosse.

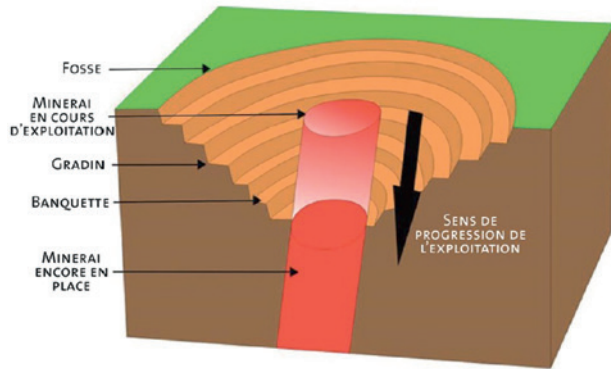


Figure 3 : Schéma d'une exploitation à ciel ouvert en fosse (Source : <http://ticri.univ-lorraine.fr>).

Résumé des principaux avantages et caractéristiques/inconvénients d'une mine à ciel ouvert

- En général, un haut volume de roche excavée (taux de production élevé) ;
- Une teneur de la minéralisation variant de faible à haute ;
- Des mines peu profondes (de 0 à 400 m (parfois plus) de profondeur) ;
- Étendue de l'opération en surface plus grande que les opérations souterraines (impact environnemental plus important) ;
- Des coûts de production à la tonne très bas ;
- Un équipement d'extraction de grandes dimensions ;
- Une mise en production rapide.

La Figure 4 ci-après donne l'exemple d'une exploitation à ciel ouvert en fosse. Il s'agit de la fosse Royal Hill de la mine d'or de Rosebel exploitée par IAMGOLD, au Suriname.

Le traitement des minerais

Le traitement des minerais (appelé minéralurgie) regroupe les méthodes mises en œuvre pour séparer les minéraux ou les métaux de la roche encaissante pour permettre leur récupération et leur valorisation.

Un procédé minéralurgique comporte sommairement deux étapes successives :

- la comminution (ou fragmentation) : elle se décompose en deux stades, une opération de concassage suivie d'un broyage plus ou moins fin du minerai ; ces deux opérations s'effectuent en plusieurs étapes, au travers de criblages intermédiaires visant, selon le cas, à éliminer une partie (stérile) du minerai ou à recycler vers l'amont les plus grosses particules ;
- la séparation proprement dite, visant à dissocier les phases minérales valorisables de la roche encaissante stérile ; on peut utiliser des méthodes exclusivement physiques (magnétiques, gravimétriques, optiques, électrostatiques, etc.), physico-chimiques (flottation), biochimiques (action de bactéries) ou chimiques (cyanuration).

Le concentré obtenu fait souvent l'objet d'un conditionnement final avant d'être envoyé vers la métallurgie.

Le cas particulier des minerais d'or

Cet article étant consacré aux minerais d'or, nous ne présenterons ici que les types de traitements applicables à ces minerais.

Lorsqu'il se présente sous forme native (le plus souvent le cas), l'or est quasi pur. Mais il peut être disséminé sous forme de particules de plus ou moins grandes dimensions (de quelques microns à quelques millimètres) dans la roche ou être un accompagnateur d'autres types de minerais (minerais d'arsenic, de cuivre, d'antimoine...).

Le choix des procédés de traitement dépendra du fait que l'or est ou non libre, sa granulométrie a aussi une incidence.



Photo © IAMGOLD

Figure 4 : La mine d'or de Rosebel au Suriname.



Figure 5 : Quelques exemples de matériels utilisés pour procéder au traitement gravimétrique des minerais d'or.

Les principaux cas de figure rencontrés sont les suivants :

- Minerais dans lequel l'or est libre et grossier (alluvions, éluvions, filonien oxydé).
Peuvent être mis en œuvre des traitements physiques et physico-chimiques :
 - particules $> 200 \mu\text{m}$: gravimétrie (de base : jig, sluice, tables) ;
 - particules $< 200 \mu\text{m}$: gravimétrie (base améliorée + centrifuge) et flottation (hydro et pyroméallurgie).
- Minerais dans lequel l'or est libre, mais finement disséminé ($<< 50 \mu\text{m}$) ou inclus dans un autre minéral (pyrite ; arsénopyrite ; zone sulfurée).
Peuvent être appliqués des traitements physiques et physico-chimiques (gravimétrie de pré-concentration (centrifuge) et flottation), ainsi que des traitements chimiques (pré-traitement par bio-méallurgie ou voie thermique ; hydroméallurgie (emploi de cyanure)).

Les procédés de traitement gravimétrique

Les procédés de traitement gravimétrique s'appuient sur l'une des propriétés physiques de l'or, à savoir sa densité. Ces procédés consistent donc à travailler sur la différence de densité existant entre l'or (densité 19,3) et les autres minéraux qui l'accompagnent dans le but de les séparer.

Si l'or libre se présente sous la forme de paillettes ou de grains (cas des gisements alluvionnaires), il n'y a pas besoin de préparation mécanique préalable autre que le débouillage du minerai ; le traitement gravimétrique s'applique alors directement sur le gravier aurifère.

Dans le cas de gisements primaires se composant de roches dures et compactes, il faudra faire subir au minerai une préparation mécanique (la comminution), laquelle est destinée à libérer l'or contenu dans la roche.

Soucieux de ne pas entrer dans des détails trop techniques, nous nous contenterons de citer quelques matériels de traitement qui s'appuient sur les principes de fonctionnement gravimétrique :

- sluice, cône, spirale (saltation = mode de transport de particules dans un courant) ;
- jig (accélération différentielle pulsion/suction) ;
- table à secousses (accélération différentielles et couches) ;
- concentrateur centrifuge (effet centrifuge, accélération radiale jusqu'à 300 G).

La flottation

La flottation est une technique de séparation fondée sur les différences d'hydrophobicité que présentent les surfaces des particules à séparer.

C'est un procédé de séparation d'un mélange de corps finement broyés ; il utilise la propriété qu'ont certaines substances de fixer en milieu aqueux des bulles d'air, ce qui leur permet d'afficher une densité artificiellement réduite.

Les minéraux hydrophobes s'accrochent spontanément aux bulles d'air contenues dans un bain liquide et ont de ce fait tendance à remonter à la surface ; les minéraux hydrophiles tombent au contraire au fond du bain.

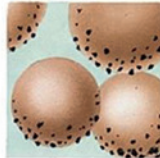
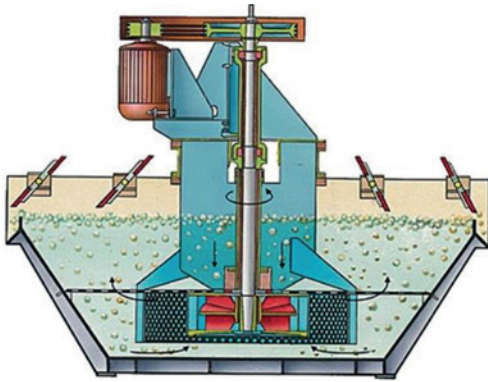


Photo © J.-F. Thomassin

Figure 6 : Principe de la flottation et exemples de cellules.

La flottation utilise cette propriété en activant aussi bien les caractères hydrophobes (grâce à des collecteurs) que les caractères hydrophiles (grâce à des déprimants). La séparation de la gangue et des minéraux est réalisée dans des cellules de flottation, ce sont de grands bacs de plusieurs mètres cubes dans lesquels on introduit la pulpe, qui est un mélange d'eau et des produits à séparer lesquels ont été préalablement broyés à une taille de 100 ou 200 μm .

Une agitation est entretenue pour maintenir les particules en suspension et l'utilisation de produits moussants (huile de pin, alcools, acide crésylique) favorise la formation des bulles d'air. La mousse enrichie en minéral hydrophobe est évacuée par débordement.

La flottation est utilisée industriellement pour concentrer les minerais de nombreuses substances minérales, qu'elles soient ou non métalliques, en particulier les minerais sulfurés qui peuvent contenir de l'or.

Cette technique permet de concentrer les teneurs initiales (on passe de quelques g/t à quelques milliers de g/t). Mais le concentré obtenu doit encore subir un traitement, car si la flottation conduit à l'obtention de concentrés riches en différents éléments (or, cuivre, zinc, etc.), elle ne permet pas d'opérer la séparation de ces éléments.

La cyanuration

L'extraction hydrométallurgique par cyanuration est le procédé le plus répandu (la production mondiale d'or provient à plus de 80 % de mines utilisant la cyanuration).

Le principe en est le suivant, l'or présent dans le minerai est traité par une solution diluée de cyanure (essentiellement de sodium) en milieu basique ($\text{pH} > 10$) et en présence d'oxygène :



Schématiquement, on peut différencier deux grandes méthodes de cyanuration :

- la cyanuration en cuve,
- et la lixiviation en tas.

La cyanuration en cuve

La mise en œuvre traditionnelle de la cyanuration est effectuée dans une série de cuves.

Le minerai après broyage ($< 100 \mu\text{m}$) est introduit sous forme de pulpe dans des réacteurs placés en série pour y être mis en contact avec le cyanure. Dans les cas les plus fréquents, ces réacteurs possèdent un système d'agitation (hélice) qui permet de maintenir la pulpe en suspension et d'assurer le brassage de l'air dans la cuve. Une injection d'air supplémentaire est parfois assurée *via* des tubes placés près du système d'agitation.

Le temps de séjour de la pulpe dans les réacteurs est fonction de la cinétique d'extraction de l'or qui a été définie lors des essais préalables. La solution d'ions aurocyanures et la pulpe ne sont pas séparées et passent dans des cuves contenant du charbon actif destiné à adsorber l'or (voir le paragraphe ci-après intitulé « La récupération de l'or »).

Lixiviation en tas

La lixiviation en tas est plutôt destinée au traitement des minerais à très faible teneur.

Préalablement à l'opération de lixiviation, le minerai tout venant ou le minerai concassé est gerbé sur des tas de 10 à 20 mètres de hauteur qui reposent sur une couche imperméable (membrane étanche). Une solution de cyanure diluée est pulvérisée sur le tas ; et en percolant à travers le minerai, elle dissout l'or qui y est présent.

La solution, qui est dite « sursaturée » d'or, est ensuite dirigée vers un bassin, pour y être pompée et envoyée dans des colonnes où l'or est récupéré par adsorption sur charbons actifs.

Le procédé de lixiviation en tas offre un certain nombre d'avantages :

- Les coûts de broyage sont réduits puisque le minerai est uniquement concassé ;
- La solution de cyanure est recyclée lors de son passage à travers le tas, réduisant ainsi la quantité de cyanure utilisée dans le processus de traitement ;

Photo © J.-F. Thomassin



Figure 7 : À gauche : exemple de lixiviation en tas. À droite : des cuves de cyanuration et utilisation du procédé d'adsorption sur charbons actifs.

- Cette méthode convient tout particulièrement aux minerais affichant les plus faibles teneurs, qui sont poreux ou présentent une fracturation susceptible de permettre à la solution cyanurée de percoler jusqu'à l'or.

La récupération de l'or

La solution contenant le complexe aurocyanure peut être traitée par cémentation (procédé Merrill-Crowe) en utilisant du zinc. Mais, de plus en plus souvent, c'est la fixation de l'or sur charbon actif qui est utilisée comme nous venons de l'évoquer.

Une tonne de charbon actif peut permettre d'adsorber 70 kg d'or. L'or est récupéré en traitant le charbon grâce à une solution chaude (portée à température d'ébullition) se composant de 1 % de soude et de 0,1 % de NaCN (cyanure de sodium).

Le charbon est recyclé après avoir été chauffé à 600-750 °C, à l'abri de l'air.

L'or est récupéré par électrolyse. Il se dépose sur une cathode en laine de fer, avant d'être fondu. L'or obtenu est d'une haute pureté.

Les mines aurifères de Guyane

Rappel historique

C'est en 1854 que Paoline, un orpailleur brésilien, découvrit pour la première fois (découverte officielle) de l'or dans une rivière de l'Est guyanais. Cet événement provoqua rapidement une ruée vers l'intérieur des terres de milliers de prospecteurs qui écrémeront au fil des années les zones les plus riches des placers mis en évidence.

Pendant près d'un siècle, la Guyane va vivre au rythme des découvertes de filons et des déceptions, des rushes et des périodes d'accalmie au cours desquelles les mineurs rivaliseront d'audace et d'ingéniosité pour arracher à la terre guyanaise un peu plus de 200 tonnes d'or !

Au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, les accords de Bretton Woods, qui fixent arbitrairement le cours de l'or à 35 \$ l'once, sonnent le glas de cette grande aventure. Il faudra attendre la fin de ces accords, en 1971, et la mise en œuvre de l'inventaire minier de la Guyane par le BRGM, en 1975, pour qu'une timide reprise de l'activité se dessine.

Les années 1990 voient l'arrivée de nouveaux opérateurs miniers qui vont introduire en Guyane la méthode d'extraction de l'or reposant sur l'emploi de lances monitor et de pompes à gravier. L'efficacité de cette technique nouvelle particulièrement adaptée à l'exploitation de l'or alluvial va conduire les petits mineurs et les PME de Guyane à rapidement l'adopter, conduisant ainsi à relancer une activité alluvionnaire jusqu'alors atone. En quelques années, la production alluvionnaire légale va décoller pour atteindre un peu plus de 4 tonnes en 2001, et ce malgré un cours de l'or déprimé.

La contrepartie sera un développement anarchique et exponentiel de l'activité illégale qui était jusque-là limitée, celle-ci perdure aujourd'hui.

Au début de ces mêmes années 1990, les grandes compagnies minières internationales lancent de nouveaux programmes d'exploration suite, notamment, à la publication des résultats de l'inventaire minier du BRGM.

Malgré le coup d'arrêt porté par l'État français, en 2008, au projet d'exploitation du gisement de camp Caïman par IAMGOLD, certaines sociétés internationales vont poursuivre leurs programmes de recherches aboutissant à de nouvelles découvertes, comme celle du gisement de Montagne d'Or dans l'Ouest guyanais actuellement au stade de l'étude de sa faisabilité.

L'exploitation minière en Guyane aujourd'hui

En Guyane, l'activité du secteur minier se borne actuellement à l'exploitation de gîtes aurifères superficiels, de placers alluviaux ou de gisements primaires de subsurface.

Les opérateurs miniers sont des entreprises artisanales et des sociétés d'exploitation de type PME ou PMI. Par nature peu capitalistiques, elles peinent pour mobiliser les lourds moyens financiers que requiert l'activité minière industrielle portant sur des gisements primaires importants.

Cette activité génère un peu plus de 500 emplois pour une production annuelle qui stagne entre 1,2 et 1,5 tonne d'or.

Les différents types de gisements exploités en Guyane

Les gisements actuellement exploités en Guyane sont de deux types (voir la Figure 9 de la page suivante) :

- des petits gisements primaires de la zone d'oxydation

- dans la saprolite ;
- et des placers alluvionnaires (accessoirement des éluvions).

Les types d'exploitation

Petits gisements primaires

Même si par le passé, il y a eu quelques tentatives d'exploitation souterraine en Guyane, les exploitations actuelles de petits gisements primaires sont de type « à ciel ouvert » (MCO).



Photo © Philippe Matheus

Figure 8 : Un exemple de mine à ciel ouvert, l'usine de Dieu Merci, en 2011.

Les placers alluvionnaires

Même si elle reste du type MCO, l'exploitation des placers alluvionnaires s'avère très spécifique. Si elle n'est pas pratiquée en France métropolitaine, elle l'est en revanche en Guyane.

Cette exploitation est cependant soumise à certaines règles qui sont, pour l'essentiel, énumérées ci-dessous.

Les activités d'exploitation minière sont interdites dans les cours d'eau dont le lit mineur est inférieur à 7,5 mètres de large.

Elles sont également interdites :

- dans les cours d'eau dont le lit mineur a une largeur comprise entre 7,5 et 20 mètres, sur les terrasses situées à une distance de moins de 35 mètres de la berge du cours d'eau ;
- dans les cours d'eau dont le lit mineur est d'une largeur supérieure à 20 mètres, dans une bande d'au moins 50 mètres, et ce afin de limiter les risques liés aux crues au travail en lit majeur. La largeur de cette bande est fixée de manière précise par l'acte autorisant les travaux sur la base d'une analyse des zones d'expansion des crues et de limites des crues fournie par le pétitionnaire à l'appui de sa demande. L'acte autorisant les travaux impose également à l'exploitant de travailler en toute saison en circuit fermé ; et fixe, pour les rejets, un niveau de concentration des matières en suspension (MES) qui ne peut être supérieur à 35 mg/l.

Un schéma « type » décrivant les différentes phases d'exploitation est présenté dans la Figure 10 de la page suivante.

La Figure 11 de la page suivante est une vue aérienne d'une exploitation alluvionnaire en Guyane. Elle montre les différentes phases d'exploitation et présente le travail en circuit fermé.

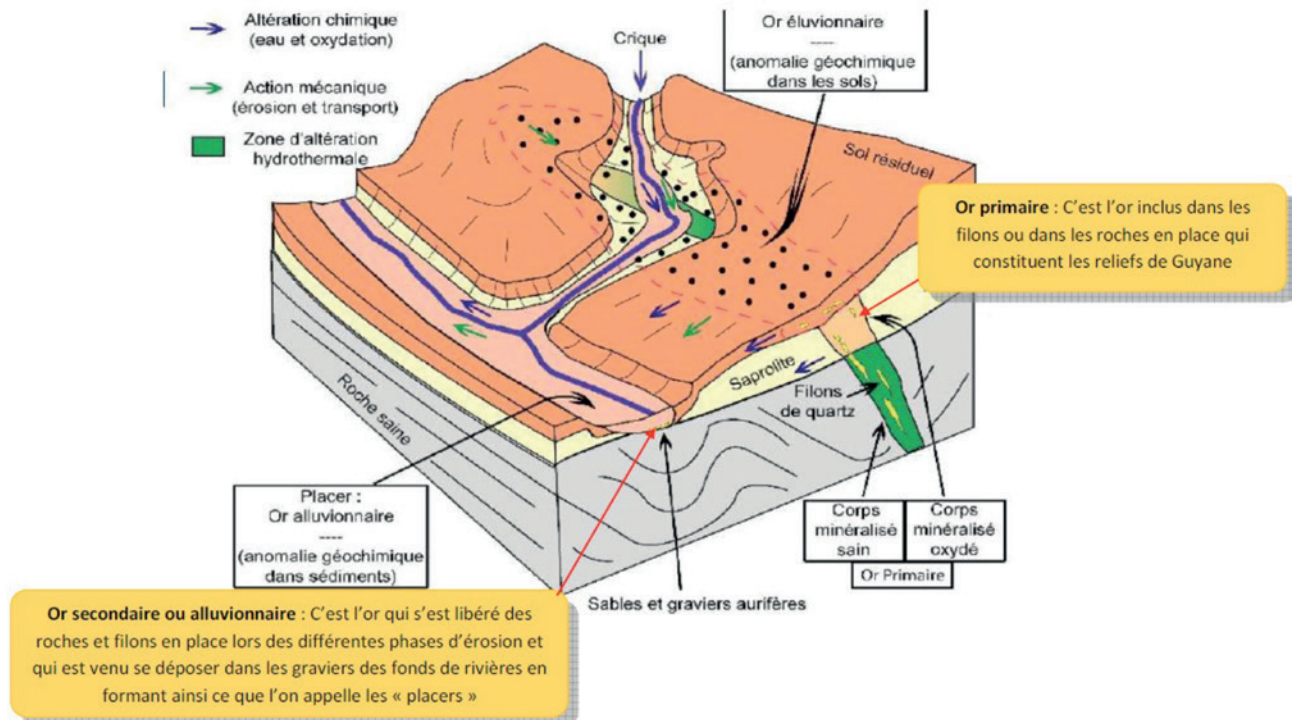


Figure 9 : Synthèse des différents gisements exploités en Guyane (d'après BRGM, 2004).

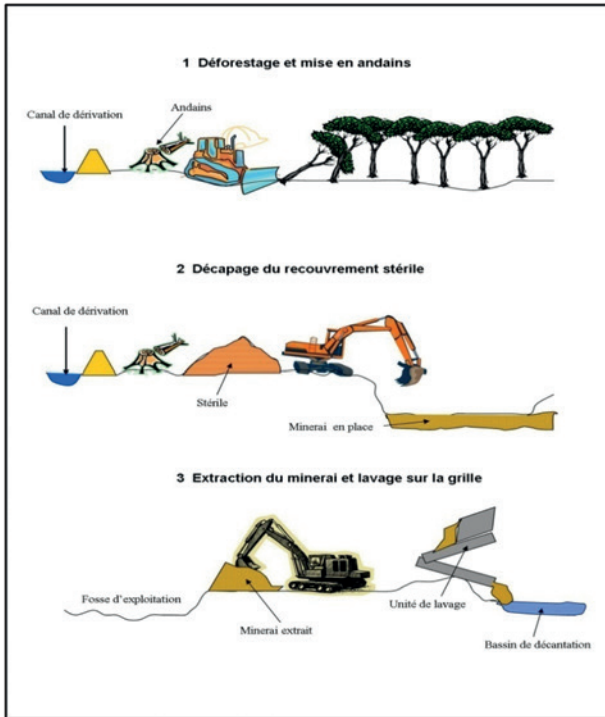


Figure 10 : Placers alluvionnaires. Schéma « type » d'exploitation (d'après Philippe Matheus).

Les méthodes de traitement

Petits gisements primaires

À ce jour, seules la société Auplata et la Société de Mines de Saint-Élie exploitent des gisements primaires. Les

méthodes de traitement des minerais extraits de la zone d'oxydation des gisements exploités sont uniquement gravimétriques.

Le schéma de traitement est globalement le même, à quelques variantes près :

- Après une phase de concassage primaire par concasseur à mâchoires, le minerai est ensuite acheminé vers une série de broyeurs à marteaux qui le réduisent à une granulométrie ≤ 2 mm.
- Le minerai mis en pulpe circule sur des sluices destinés à piéger l'or « gros » avant d'être pompé vers un (ou plusieurs) broyeur(s) à boulets afin d'être amené à une granulométrie ≤ 200 μm . La pulpe est ensuite dirigée vers un (ou plusieurs) concentrateur(s) centrifuge(s) destiné(s) à piéger l'or fin.
- La surverse du concentrateur est acheminée vers un hydrocyclone positionné en tête du broyeur afin de ne recycler que la fraction > 200 μm , laquelle sera rebroyée avant de passer à nouveau dans le concentrateur.

Entre 1987 et 1996, la mine de Changement, dans l'Est guyanais, a traité, avec de très bons résultats, son minerai oxydé par lixiviation en tas, après concassage et une phase de gravimétrie, dans des aires étanches couvertes (en raison des fortes précipitations qui caractérisent cette région).

La société Auplata construit actuellement une usine de traitement par cyanuration en cuve d'une capacité de 300 tonnes/jour, qui devrait être opérationnelle dans le courant du second semestre 2018.

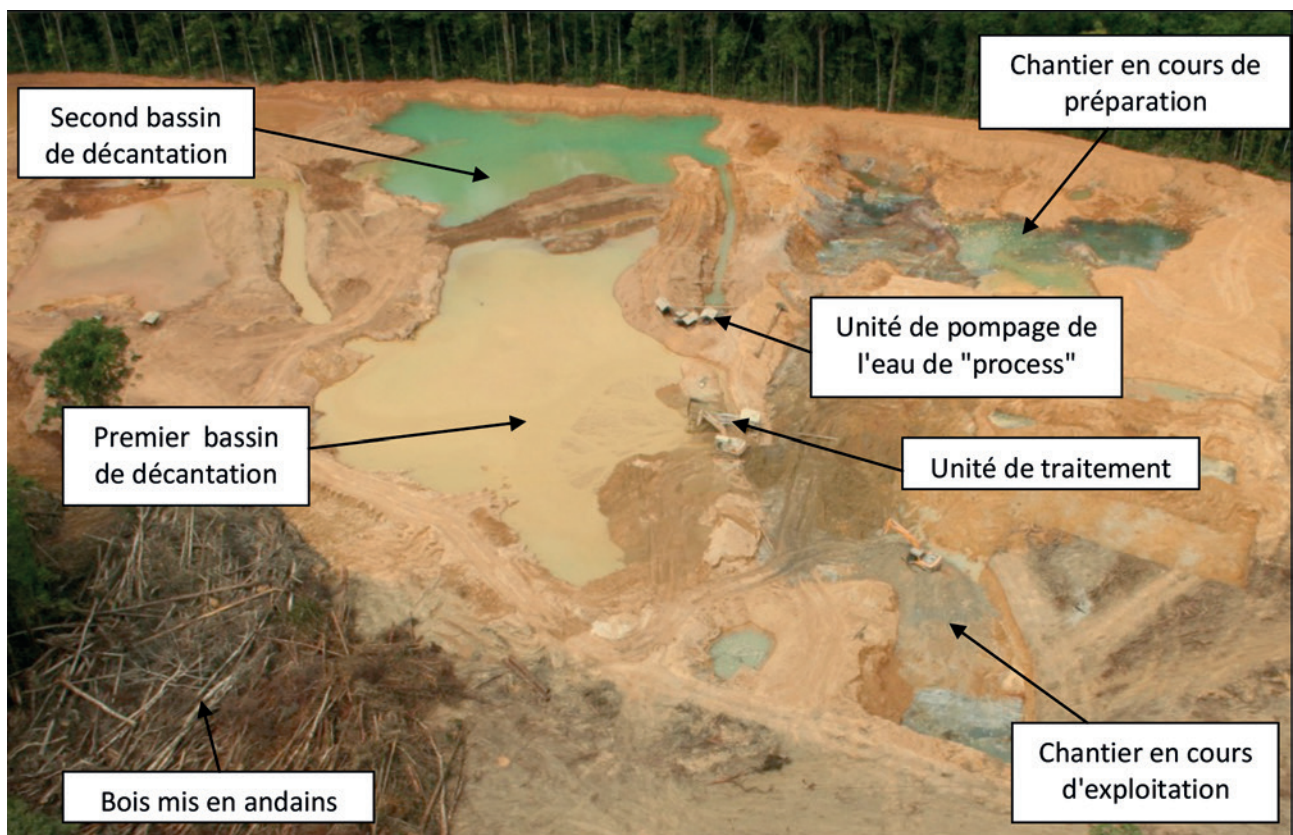


Figure 11 : Photo aérienne d'une exploitation alluvionnaire en Guyane.



Figure 12 : Différentes étapes d'extraction et de traitement du minerai.

Les placers alluvionnaires

Pour les exploitations alluvionnaires, la méthodologie est la suivante :

- Le gravier minéralisé est débourbé sur une grille de calibrage équipée d'un scalpeur. La pulpe contenant la fraction la plus fine (< 20 mm) circule sur une série de

sluices étagés garnis de métal déployé et de moquettes qui permettent le piégeage de l'or.

- Lessluices sont «levés» (clean-up) à intervalles réguliers, les concentrés sont traités au laboratoire au moyen de tables à secousses afin de récupérer l'or sous forme de concentrés de tablage, lesquels sont ensuite acheminés vers un comptoir de fonte, avant de faire l'objet d'un affinage.

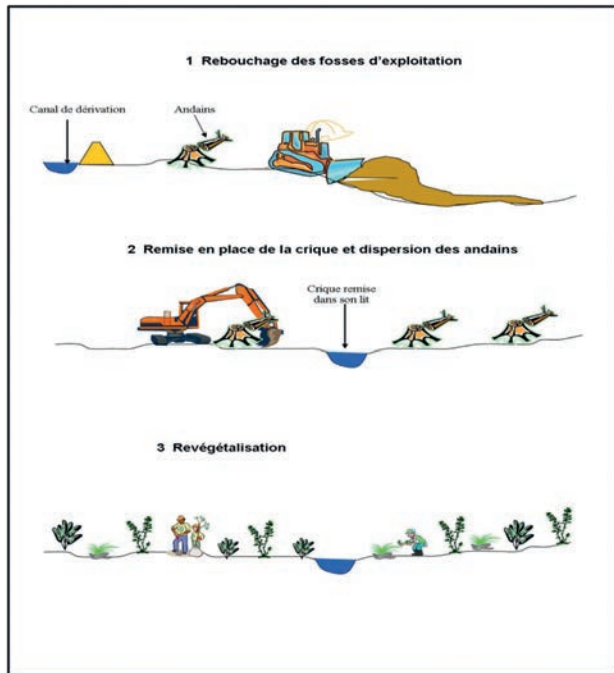


Figure 13 : Placers alluvionnaires. Schéma « type » de réhabilitation et de revégétalisation (d'après Philippe Matheus).

L'emploi du mercure est interdit en Guyane depuis 2006, une interdiction que la grande majorité de la profession avait anticipée depuis de nombreuses années ne travaillant plus que par gravimétrie.

Une réhabilitation/revégétalisation

À l'issue de l'exploitation, les sites sont réhabilités et revégétalisés au fur et à mesure, conformément au processus présenté dans la Figure 13 ci-contre.

Bibliographie

CART-TANNEUR Ph. (1990), *L'Or*, Éditions Trame Way, novembre.
 GOOSSENS P. J. (1998), *L'Or, de l'Antiquité à nos jours*, Société de l'Industrie minière, mars.
 Gouvernement du Canada (2009), Environnement Canada, direction générale de l'Intendance environnementale, direction des Secteurs publics et des Ressources, division Mines et traitement, section des Mines, *Code de pratiques écologiques pour les mines de métaux*.

Photo © Philippe Matheus

IEDOM (Institut d'émission des départements d'Outre-mer) (2016), Rapport annuel Guyane.

LIBAUDE J. & MORIZOT G. (1984), « Le traitement des minerais d'or », *Industrie minière. Les techniques*, juin.

LUCION C. & DE LA TORRE E. (2017), « Les procédés de traitement par cyanuration, y compris les méthodes de destruction du cyanure résiduel. Exemples de schémas de traitement d'installations équatoriennes », *Mines et Carrière*, Hors-série 21, « Les mines métalliques d'Europe », octobre.

Ministère de l'Industrie, BRGM (1995), « L'or en Guyane. Géologie, gîtes, potentialités. Quel avenir pour l'an 2000 ? », juin.

OLIVIER P. & LIBAUDE J. (1987), « Le traitement des minerais d'or. Ses derniers développements », *Industrie minière. Mines et carrières. Les techniques*, août-septembre.

PETOT J. (1986), *L'Or de Guyane : son histoire, ses hommes*, Éditions caribéennes.

PETOT J. (1993), *L'Histoire contemporaine de l'or en Guyane*, Éditions L'Harmattan.

POULARD F., DAUPLEY X., DIDIER C., POKRYSKA Z., D'HUGUES P., CHARLES N., DUPUY J.-J. & SAVE M. (2017), *Exploitation minière et traitement des minerais*, Collection « La Mine en France », tome 6, février.

STANLEY G. G. (1987), *The Extractive Metallurgy of Gold in South Africa*, vol. 1, South African Institute of Mining and Metallurgy.

STANLEY G. G. (1987), *The Extractive Metallurgy of Gold in South Africa*, vol. 2, South African Institute of Mining and Metallurgy.

THOMASSIN J.-F., URIEN P., VERNEYRE L., CHARLES N., GALIN R., GUILLON D., BOUDRIE M., CAILLEAU A., MATHEUS Ph., OSTORERO C. & TAMAGNO D. (2017), *Exploration et exploitation minière en Guyane*, Collection « La Mine en France », tome 8, février.

VERTEN Ph., LIBAUDE J. & MATHEUS Ph. (1990), « Le développement de la cyanuration en tas à la mine de Changement (Guyane) », *Industrie minière. Mines et carrières. Les techniques*, mars-avril.

Satisfaire les besoins en énergie d'une mine d'or, la mine d'Essakane au Burkina Faso

Par **Christophe FLEURENCE**

Vice-président Business Development Africa de Total Eren

Près de cinq cents tonnes par mois : c'est la quantité de fioul remplacée par de l'énergie solaire sur le site de la mine d'or d'Essakane, au Burkina Faso. Située dans une zone reculée et non raccordée au réseau national d'électricité, cette société minière qui appartient au groupe canadien IAMGOLD a opté pour une solution d'approvisionnement énergétique innovante pour l'industrie minière. Pour répondre à une demande électrique moyenne de 40 MW, la mine s'est associée au producteur d'énergie Total Eren qui a raccordé une centrale solaire photovoltaïque (PV) d'une capacité de 15 MWc à la centrale thermique au fioul de 57 MW utilisée par la société minière précitée. L'ensemble représente aujourd'hui la plus grande centrale hybride solaire-diesel du monde et l'une des plus grandes installations solaires d'Afrique subsaharienne.

Essakane Solar a été développée par les équipes de Total Eren ⁽¹⁾ et AEMP (Africa Energy Management Platform) ⁽²⁾.

Comment arriver à satisfaire les besoins énergétiques d'une mine d'or ? Dans cet article, quelques éléments de réponse seront donnés par un acteur pionnier du secteur des énergies renouvelables.

Satisfaire les besoins énergétiques croissants de l'industrie minière

Les caractéristiques du secteur minier aurifère

Un secteur globalisé

Si, historiquement, l'or était principalement exploité en Afrique du Sud, l'exploitation aurifère s'opère aujourd'hui sur tous les continents, à l'exception de l'Antarctique. Les principales mines d'or sont localisées dans huit pays producteurs : il s'agit de la Chine – le premier producteur mondial (14 % de la production annuelle mondiale ⁽³⁾) –, de la Russie, de l'Australie, des États-Unis, du Canada, du Pérou, de l'Indonésie et de l'Afrique du Sud. L'Afrique, à elle seule, concentrait 55 % des réserves d'or mondiales, en 2013 ⁽⁴⁾.

Le World Gold Council estime à environ 3 000 tonnes la quantité d'or extraite chaque année, soit l'équivalent d'un cube d'or pur d'environ 5,4 mètres pour chacune de ses arêtes ⁽⁵⁾. La production minière représente une part non négligeable de l'approvisionnement en or au niveau mondial (près de 75 % ⁽⁶⁾), le reste de la demande étant comblé par le recyclage du précieux métal, lequel est très prisé dans des pays comptant de nombreux consommateurs, tels que la Chine, l'Inde, les États-Unis ou la Turquie.

Un secteur énergivore

Les industries minières consomment des quantités considérables d'électricité, une consommation qui varie en fonction du type de minerai et de l'importance des opérations nécessaires à la transformation ou à l'enrichissement de celui-ci. D'après les experts, le secteur minier consommerait environ 400 TWh d'électricité par an, soit un peu

(1) Total Eren est un producteur indépendant d'électricité (IPP) qui développe, finance, construit et exploite des centrales d'énergies renouvelables pour les réseaux nationaux, les mines, les grandes industries et les populations non desservies par les réseaux. Fort d'un portefeuille d'actifs de plus de 1 300 MW en exploitation ou en construction sur les cinq continents, Total Eren œuvre activement à la réplique de projets similaires à celui d'Essakane Solar sur d'autres sites, au bénéfice des acteurs locaux et de l'industrie minière.

(2) Basé en Afrique du Sud, AEMP développe, finance, construit et exploite avec Total Eren des centrales électriques à partir d'énergies renouvelables et hybrides (thermique, stockage) pour des acteurs industriels en Afrique subsaharienne, notamment des clients minières.

(3) World Gold Council (WGC).

(4) DELOITTE (2013), "Mining in Africa: how inclusive solutions can mitigate risk".

(5) En nous basant sur les calculs du WGC qui estime à 190 000 tonnes la quantité d'or produite depuis l'aube de l'humanité, soit l'équivalent d'un cube d'or pur de 21 mètres pour chacune de ses arêtes (si chaque once d'or était assemblée).

(6) World Gold Council.

Photo © Wärtsilä



Figure 1 : La mine d'or d'Essakane du groupe IAMGOLD. Au premier plan, la centrale solaire d'une capacité de 15 MWc installée par Total Eren et AEMP en complément du système de générateurs diesel existant.

moins que la consommation totale d'électricité de la France en 2013 (476 TWh), mais bien plus que celle du Royaume-Uni au titre de la même année (346 TWh).

La puissance installée requise pour exploiter une mine d'or à ciel ouvert s'échelonne généralement entre 20 et 60 MW, elle peut atteindre les 80 MW pour une mine d'or souterraine ⁽⁷⁾. Par ailleurs, les minerais bruts contiennent presque toujours un mélange de minéraux qu'il est nécessaire de trier pour pouvoir en extraire les minéraux désirés. Sachant que, dans la plupart des mines d'or industrielles, une tonne de minerai contient de quelques dixièmes à quelques grammes d'or, on comprend aisément que la production annuelle mondiale d'or s'avère être un processus industriel des plus énergivores. L'extraction, le concassage et le traitement des volumes de minerais de l'ordre du kilomètre cube sont des opérations nécessaires pour extraire un volume d'or annuel qui tiendrait théoriquement dans deux containers maritimes de 40 pieds !

Dans de tels contextes, l'électricité est généralement produite à partir de combustibles liquides acheminés par la route. Outre une empreinte carbone significative, cela implique un coût de production qui est fortement dépendant des variations du prix du pétrole, ainsi que des contraintes importantes en matière logistique et financière (coûts de transport et nuisances diverses). À titre d'exemple, une mine disposant d'une charge électrique de 40 MW consomme près de 10 tonnes de fioul par heure.

Les défis énergétiques que pose une mine d'or

Approvisionnement en énergie et technologie de production d'électricité

Si l'électricité nécessaire au fonctionnement des sites

d'exploitation minière les plus accessibles est en général fournie par les réseaux nationaux, les nouvelles mines sont de plus en plus souvent éloignées des réseaux électriques. Aussi observe-t-on une forte progression des projets reposant sur l'autoproduction d'énergie (de 6 % des projets miniers avant 2000, on est passé à 18 % en 2020, d'après la Banque mondiale).

Jusqu'à récemment, les sources d'énergie disponibles pour la plupart des mines d'or se situant hors réseau électrique se limitaient généralement au fioul léger, au fioul lourd ou, plus rarement, au gaz. De fait, le choix technologique des moyens de production se fera entre, d'un côté, des groupes diesel à moteur rapide, qui sont plus économiques à l'achat mais plus coûteux en fonctionnement (importante consommation de combustibles) et, de l'autre, des groupes semi-rapides, plus efficaces, et qui combinent à l'inverse un CAPEX plus élevé pour un OPEX plus réduit.

Depuis le milieu de la décennie est constatée une réduction des coûts de la technologie photovoltaïque qui permet d'envisager une composante solaire compétitive par rapport aux combustibles fossiles. Il faut cependant noter deux éléments clés : en premier lieu, ces solutions sont très gourmandes en CAPEX initial et leur amortissement, au vu du prix actuel du fioul, exigent des durées de vie des projets supérieures à dix ans. En second lieu, le caractère intermittent et diurne de l'énergie solaire limite la proportion de cette énergie qui peut être introduite dans un système de production d'énergie sans le déstabiliser.

(7) Banque mondiale (2015), rapport sur « Le potentiel transformateur de l'industrie minière, une opportunité pour l'électrification de l'Afrique subsaharienne ».

S'il est aujourd'hui réaliste de penser pouvoir remplacer 10 à 20 % de la consommation de fioul par de l'énergie solaire dans les centrales fioul typiques du secteur minier, l'avènement de batteries de stockage de l'électricité moins onéreuses et plus efficaces conjugué à l'augmentation des prix du pétrole devrait permettre de porter cette part à 30 % et plus d'ici à quelques années.

Investir ou externaliser la production d'énergie ?

Deux modèles économiques principaux s'offrent aux exploitants miniers contraints à l'autoproduction.

Dans le premier modèle – le plus courant dans l'industrie minière –, la mine investit et devient propriétaire des actifs de production d'électricité au même titre qu'elle l'est des équipements miniers. Cette solution offre un grand niveau d'indépendance à la mine, en particulier dans les cas où des incertitudes sur la ressource ne lui permettent pas de sous-traiter la production d'énergie sur une durée minimale de dix ans voire plus. En revanche, ce schéma exige de l'exploitant minier qu'il mobilise des fonds propres pour financer un investissement dans une activité non minière. Il demande en outre de justifier de compétences particulières qui devront parfois être sous-traitées à des professionnels de l'énergie.

Dans le second modèle, la mine confiera son approvisionnement en énergie à un spécialiste, le producteur indépendant d'électricité (IPP ou Independent Power Producer), sur la base d'un contrat (PPA ou Power Purchase Agreement). Le producteur développera le projet (il devra notamment obtenir les permis requis), réalisera les investissements nécessaires, construira, puis exploitera la centrale. Dans ce schéma, l'IPP n'aura généralement pas d'autre acheteur que la mine pour l'énergie produite du fait de l'isolement du site, il aura donc besoin pour pouvoir amortir ses actifs que la mine s'engage dans la durée sur des volumes d'achat d'énergie. Si le contrat d'achat porte sur une durée de dix ans ou plus, une composante énergie solaire sera alors probablement une solution bien plus compétitive indépendamment de l'évolution du prix du fioul ; elle permettra de réduire la consommation de carburant durant les heures d'ensoleillement.

Ainsi, le groupe IAMGOLD a confié à Total Eren et à son partenaire AEMP l'approvisionnement en électricité photovoltaïque de sa mine d'or d'Essakane au Burkina Faso, signant pour cela un PPA s'étendant sur quinze ans pour une centrale solaire de 15 MWc. La compagnie B2Gold a choisi, quant à elle, d'investir sur ses fonds propres dans une centrale solaire de 7 MWc pour alimenter sa mine d'or d'Otjikoto en Namibie.

L'hybridation de centrales au fioul en recourant aux énergies renouvelables

Le recours aux énergies renouvelables, une option avantageuse

L'utilisation des énergies renouvelables présente des avantages considérables pour les mines. D'une part, elles permettent de réduire la dépendance de celles-ci vis-à-vis des énergies fossiles en leur fournissant une énergie

compétitive, fiable, à prix fixe. D'autre part, elles réduisent l'impact environnemental de ces mêmes industries.

La réduction des coûts de transport et des besoins en carburant et en maintenance

L'implantation de centrales d'énergies renouvelables (solaire, éolien ou autre) près des sites des mines permet à celles-ci de réduire leurs coûts de transport et leurs émissions de CO₂ et de s'affranchir grandement de la lourde logistique associée à l'acheminement de carburants et lubrifiants pour alimenter les centrales thermiques. Dans les zones reculées, les frais de transport peuvent s'avérer considérables (prix des carburants élevés et fortement volatils). La solution renouvelable réduit les contraintes liées à l'approvisionnement en fioul ainsi que les heures de fonctionnement des moteurs des centrales précitées (et donc les dépenses liées à leur maintenance).

Des localisations propices au recours à l'énergie solaire, une technologie *a fortiori* mature

La majorité des sites miniers mondiaux sont situés en zone intertropicale (l'Australie, le Nord du Chili ou l'Afrique subsaharienne), une zone où l'irradiation solaire est souvent intense. Ces rendements solaires élevés permettent aujourd'hui de construire des fermes solaires dont l'emprise au sol varie de 1,5 à 2 ha/MW.

Le solaire photovoltaïque est aujourd'hui une technologie mature largement déployée dans le monde, que ce soit en production pour les réseaux électriques ou pour les industries. Les volumes sont tels qu'ils ont permis une réduction drastique des coûts des équipements et de leur installation depuis une dizaine d'années. Ainsi, d'après l'Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA), les coûts de production d'électricité solaire auraient chuté de 73 % entre 2010 et 2017, et de 23 % pour ce qui concerne l'électricité éolienne. Enfin, les centrales solaires sont modulables : elles peuvent donc être facilement adaptées en termes de taille et donc répondre rapidement et aisément à l'évolution des besoins.

Un impact environnemental réduit

S'approvisionner en énergie renouvelable permet à la mine de réduire non seulement ses coûts opérationnels, mais aussi son impact carbone, et donc son exposition à l'instauration de possibles taxes carbone. En outre, cela démontre aux investisseurs et aux autorités des pays hôtes que l'activité minière est compatible avec un engagement responsable en faveur de l'environnement, en permettant, le cas échéant, de fournir une énergie plus propre et plus économique aux communautés vivant à proximité des sites miniers.

Le cas de la centrale hybride solaire-thermique Essakane Solar développée par Total Eren et AEMP pour alimenter la mine d'or de IAMGOLD

Un projet inédit pour l'industrie des énergies renouvelables et pour le secteur minier

Filiale burkinabè d'IAMGOLD, IAMGOLD Essakane SA constitue l'une des plus grandes compagnies privées du Burkina Faso, et l'une des plus grandes mines d'Afrique

Photo © Wärtsilä



Figure 2 : Essakane Solar est la plus grande centrale hybride solaire-thermique au monde et est l'une des plus grandes installations solaires d'Afrique subsaharienne.

de l'Ouest avec une production de 389 000 onces d'or en 2017. Située dans une région reculée, la mine n'est pas connectée au réseau national d'électricité, elle dépend d'un parc de générateurs diesel pour son alimentation électrique.

Dans ce contexte, IAMGOLD a fait appel à Total Eren et à AEMP pour mettre en place un plan de transition énergétique durable, en signant, en mars 2017, un PPA sur quinze ans visant à hybrider le système de générateurs diesel existant avec une capacité de production solaire de 15 MWc. Grâce à ce projet, Total Eren a réussi à créer une dynamique très positive parmi les acteurs locaux, illustrée un an plus tard (16 mars 2018) avec l'inauguration de la centrale par le président du Burkina Faso, le ministre de l'Énergie, ainsi que des représentants des communautés locales. La construction d'Essakane Solar a ainsi permis l'emploi durant huit mois de soixante-quinze habitants des communes des alentours. En outre, la centrale compte désormais un effectif permanent de quarante personnes, dont l'emploi est assuré pour les quinze prochaines années.

Essakane Solar représente un projet inédit pour l'industrie des énergies renouvelables et pour le secteur minier, dans un contexte plus large de développement de projets hybrides sur le continent africain. Il s'agit de la plus grande centrale hybride solaire-diesel du monde, et elle est l'une des plus grandes installations solaires d'Afrique subsaharienne (2018).

Essakane Solar, le symbole d'une révolution énergétique en marche

Constituée de trente mille panneaux photovoltaïques, la centrale Essakane Solar permet chaque mois de substituer de l'énergie solaire à environ cinq cents tonnes

de fioul. Elle devrait permettre à la mine de diminuer sa consommation totale de carburant d'environ six millions de litres de fioul par an et de réduire ses émissions annuelles de CO₂ d'environ 18 500 tonnes. Essakane Solar a par ailleurs engagé une procédure d'enregistrement des crédits carbone générés par le projet auprès du Programme des Nations Unies pour le développement.

Essakane Solar illustre une double révolution énergétique aujourd'hui en marche : d'une part, la baisse des coûts de la technologie photovoltaïque permet déjà au solaire de concurrencer les énergies fossiles et, d'autre part, la baisse des coûts des batteries de stockage de l'énergie permettra demain d'augmenter sensiblement la part du solaire dans les systèmes hybrides.

Cette expérience réussie représente le premier projet d'une longue série : forte de son savoir-faire, Total Eren est l'objet d'un vif intérêt de la part de nombreux acteurs du secteur. Soucieux de permettre aux industriels de se concentrer sur leur métier, Total Eren s'investit pour partager le plus largement possible son expérience avec l'industrie minière, en lui proposant des solutions d'énergie hybride adaptées à ses besoins et en contribuant à la baisse de ses coûts d'exploitation, sans qu'elle ait à déployer de capital supplémentaire.

Conclusion

Les mines d'or doivent fréquemment investir des dizaines de millions de dollars dans des centrales fioul qui produisent une énergie coûteuse, car fortement dépendante des variations des cours du pétrole. En sa qualité de producteur indépendant d'électricité (IPP), Total Eren développe, construit et exploite des centrales solaires et

À propos de Total Eren

Fondée en 2012 par Pâris Mouratoglou et David Corchia, Total Eren constitue un ensemble d'actifs substantiel et diversifié dans les énergies renouvelables (éolien, solaire et hydraulique) représentant une capacité de production brute installée de plus de 1 300 MW, que ce soit en exploitation ou en construction dans le monde. À travers des partenariats avec des développeurs locaux, Total Eren développe aujourd'hui de nombreux projets énergétiques dans des pays et régions où les énergies renouvelables constituent une réponse économiquement viable à une demande énergétique croissante, c'est le cas en Asie-Pacifique, en Afrique et en Amérique latine. Son objectif est d'atteindre une capacité globale nette installée de plus de 3 GW à l'horizon 2022. Le 1^{er} décembre 2017, Total, qui est un acteur de premier plan dans le secteur énergétique, a acquis une participation indirecte de 23 % dans Total Eren. Pour en savoir plus, voir le site Internet : www.total-eren.com

En Afrique, Total Eren, à travers sa filiale Winch Energy, développe, finance, construit et exploite des solutions d'énergies renouvelables pour les réseaux nationaux d'électricité et les populations non desservies par ces réseaux, ainsi que pour les grandes industries, les mines en particulier. En novembre 2016, Total Eren a concrétisé son premier projet en Afrique, avec la mise en production d'une centrale de 10 MW située à Soroti, en Ouganda. C'est à partir de 2017 que les premières unités d'électrification rurales Winch Energy ont été déployées en Mauritanie, au Bénin et en Ouganda. En décembre 2017, Total Eren a commencé la construction de deux centrales solaires de 63 MW chacune sur le complexe de Benban près d'Assouan, en Égypte. Plus récemment (en mars 2018), Total Eren a inauguré une centrale solaire de 15 MW qui vient en complément d'une centrale diesel de 57 MW, laquelle alimente la mine d'or d'Essakane au Burkina Faso.

hybrides fournissant de l'énergie fiable et compétitive au secteur minier, lui évitant ainsi de mobiliser des investissements dans des activités non stratégiques pour lui.

Développée, construite et financée par Total Eren et AEMP, la centrale d'Essakane Solar au Burkina Faso fournit, depuis le deuxième trimestre 2018, 15 MWc d'énergie solaire compétitive à la mine d'or d'Essakane du groupe canadien IAMGOLD. Le succès d'Essakane Solar souligne la capacité de Total Eren à mener un projet à son terme,

sans qu'il y ait besoin de faire appel à des subventions publiques. Il démontre également la pertinence économique et technique de l'hybridation des centrales au fioul en les couplant à de très grandes fermes solaires. Les prochains projets de Total Eren pour le secteur minier permettront de remplacer une proportion de plus en plus importante de fioul par de l'énergie solaire, et ce grâce à l'intégration de batteries toujours plus performantes.

Innovations in Mining Operator Efficiency Through Simulation Based Training Technologies and Processes

By IMMERSIVE TECHNOLOGIES ⁽¹⁾

Within the often-hazardous mining industry, simulation training has quickly gained recognition as a significant method of increasing site safety and profitability through improved operator skill and knowledge. Simulators provide operators a safe environment to learn and practice their skills; Immersive Technologies' simulators allow the operator to practice for a range of possible emergency situations. Many of these situations are too dangerous, too difficult or too expensive to test in an actual mine.

Immersive Technologies has deployed over 80% of the Advanced Equipment Simulators operating around the world to the broadest range of mining environments. This experience, together with ongoing feedback from customer base and Original Equipment Manufacturer alliance partners, has provided Immersive Technologies with the knowledge necessary to develop the most accurate, reliable and outcome oriented Equipment Simulators.

Immersive Technologies' Equipment Simulators are supported by the industry's most comprehensive range of compatible tools, technologies and professional services. This ensures a solution to meet or exceed your needs can be defined, delivered, implemented and generating operational results quickly and with very low risk.

Using Simulators to Train Mining Operators

Simulation based operator training has been successfully applied to a range of diverse industries where high risk and high costs are everyday issues requiring smart solutions. Whether piloting a plane or launching a space shuttle, simulation training has been proven to dramatically reduce risk, cost, unscheduled maintenance, increase trainer effectiveness and efficiency while maximizing productivity.

Within the often-hazardous mining industry, simulation training has quickly gained recognition as a significant method of increasing site safety and profitability through improved operator skill and knowledge.

Simulators provide operators a safe environment to learn and practice their skills. Immersive Technologies' simulators allow the operator to practice for a range of possible emergency situations. Many of these situations are too dangerous, too difficult or too expensive to test in an actual mine.

Operators can also be shown and assessed for the proper operating technique much more quickly and accurately than the traditional in machine approach. Focus on improving operator technique with Immersive Technologies' simulators has delivered proven results including longer tire life, reduced spot time, reduced brake abuse, improvements in fuel use, reduction in engine overspeeds and more.

Simulator training allows operators to be shown and assessed without the need to borrow machines from production. This allows new operators to practice many skills before being placed into a production circuit. Because operators are consistently shown and assessed on the proper

(1) The article provides a company perspective on the topic addressed, it was written and provided by the Marketing Promotions Department. For more information and associated media please contact Andres Arevalo, Global Marketing Promotions Manager, Immersive Technologies, aarevalo@immersivetechnologies.com, Tel: +61 (8) 9347 9011, Fax: +61 (8) 9347 9090.



Photo 1: The PRO4 from Immersive Technologies is built specifically for surface mining. With a 3x Full HD frontal display plus a large integrated rear display, the PRO4 is the most advanced simulator platform on the market. It delivers realism at a level not previously seen by the mining industry. The PRO4 provides a robust, high fidelity platform for driving operator optimization and business improvement.

operator techniques they have a better understanding and knowledge of the real machine.

Simulation Training Impact on Safety

The ability to train operators to react correctly during potentially life-threatening situations is invaluable in mining. Many dangerous situations rarely take place, so training operators to understand proper protocol in a safe environment is essential for mining operations to be assured their operators are better prepared and can react appropriately with confidence.

Operators can be trained on how to respond to machinery emergencies such as engine fires and brake failure as well as the correct responses to emergencies occurring elsewhere on the mine site.

With over 100,000 operator training sessions analyzed we know that less than 50% of experienced operators can recall the procedure to respond to an emergency machine failure. Immersive Technologies has proven to deliver over 90% pass rates using their simulation training solutions. Below are two examples of reported safety training improvements.



Photo 2: The IM360 from Immersive Technologies is built specifically for underground mining with the flexibility to train on surface mining environments. It delivers cutting edge technologies in a lower cost high fidelity platform.

REF#SF0210:

Surface Coal Producer, USA

During an actual truck fire incident employee had an engine fire and correctly handled the event. In the incident review the employee said they'd recently completed simulation training and felt completely comfortable handling the fire event.

REF#SF0410

Underground Mining Services Provider, Australia

Underground truck operator had truck catch fire; the operator attributed recent simulator training to the correct actions taken during the emergency, keeping the operator safe and saving the company millions of dollars in a potential full machine loss.

Simulation Training Impact on Unscheduled Maintenance

The mining industry continues to demand safer, more productive and less costly equipment operators to achieve sustainable mining operations. One-time improvement initiatives have already hit the financial bottom line and their impact is lessening. Now operations are looking for sustainable long-term, solutions that integrate operational data, analytical tools and decision making leveraged to improve financial outcomes on an ongoing basis.

Machine availability is an ongoing challenge in the mining industry. Poor operator behaviors and operational practices such as abusive shifting, engine overspeed and brake abuse contribute to a loss in production while machines are down. Reactive maintenance is an inefficient way to address fleet availability and companies are more likely to suffer from heightened maintenance costs, longer periods of unplanned equipment downtime and lost mine

productivity. Properly trained operators can directly reduce unscheduled maintenance costs and increase site productivity. Targeted simulation training from Immersive Technologies delivers, in the field, an average of 62.2% reduction in brake abuse, 69.8% reduction in abusive shifting and 54.5% reduction in engine overspeed.

REF#UM0313

Surface Mining Operation, Indonesia

Exponentially increasing cost of fuel usage, engine overhaul (from engine overruns) and brake replacements (overheating/wear). Cross functional training programs consisting of measuring operator baselines, coaching, evaluation followed by monitoring in pit operation and retention assessments in their Advanced Equipment Simulator resulted in 90% reduction in VHMS cooling brake oil overheat frequency.

REF# UM0112

Coal Operations, USA

Production cost per ton steadily increasing as the development of the site matured. An Advanced Equipment Simulator was installed and utilized for approximately 12 hours per day, 5 days a week. Remaining training time is spent out in the field or in the classroom resulting in reduction in abusive shifts, high brake temperatures and machine up-shifts.

Simulation Training Impact on Productivity

Equipment performance is heavily dependent on operator skill, knowledge and attitude. The Immersive Technologies approach ensures customers focus on the right issues that will deliver the highest returns.

Every mining operation and training center has different needs and priorities that require customization, flexibility and consultation to maximize outcomes. Solutions from Immersive Technologies can include trainers, consultants, supervision and technology including flexible hire of Simulators.

REF#PR0511

Energy Coal Producer, South Africa

Customer was under pressure to show marked improvement in their overall production across all of their mine sites with an identified risk regarding the absence of a formal Dragline operator training strategy. A comparison of operator performance in the six months before and six months after the training showed:

- 4% improvement in cycle times
- 10% improvement in swing times
- 5.7% improvement in bucket fill factors

REF#UM0913

Crude Oil Producer, Canada

An initial training needs analysis demonstrated an opportunity to improve haul truck spot times. Data analysis re-



Photo 3: The LX6 from Immersive Technologies is a medium fidelity simulator platform perfect for machine and site familiarization, emergency response and compliance training.

This platform offers six full HD screens for a large field of view, a smaller footprint compared to high fidelity simulators and ample wide horizontal view for truck, shovel and excavator training programs. The large wide vertical view offers clear visibility when digging, dozing or grading. The LX6 is compatible with all surface mining machines simulated by Immersive Technologies and shares the underlying technology of the industry leading PRO4 and IM360.

vealed that only 20% of the workforce were responsible for the majority of lower than expected productivity. Upon the completion of the training initiative average spot times were reduced by 9 seconds.

REF#PR0613

Iron Ore Producer, USA

Simulator data was used to track progress of production specific skill and knowledge retention at three sites. Infield data was collected and analyzed both before and after training. The end result was an average of 24.3% improvement in spot times across all three sites.

Simulation Training Impact on Fuel

Within the mining industry it is becoming increasingly important to focus on fuel preservation to control the cost of production as well as to meet increasingly stringent environmental requirements. The training solutions from Immersive Technologies are designed to give equipment operators the skills and knowledge they need to operate in a productive manner while assessing and eliminating behaviors that cause excess fuel consumption.

The simulator technology includes detailed monitoring of operator behaviors which directly relate to excess fuel consumption including levels of throttle and brake application for specific situations. This has resulted in an enhanced assessment tool for managers to determine which fuel inefficient operator behaviors are most prevalent on their site and represent the greatest opportunities for savings.

REF#CS0213

Surface Mining Operations, Indonesia

Site was over budget on monthly fuel consumption costing the site an additional \$100,000 USD per year. After simulation training fuel consumption over a four month period was reduced by 6.9% below the site budget, saving the site an estimated \$500,000 USD annually.

REF#TR0411

Mining Services Provider, Australia

The company set an initiative to address rising fuel costs & greenhouse gas emissions using Advanced Equipment Simulators and Training Systems Integration from Immersive Technologies. Historical fuel consumption rates were benchmarked and operators were randomly assigned to either a training or control group. The training group received simulator based sessions targeting several common operating errors including aggressive throttle application, aggressive braking and speed control. The control group received no instruction. A comparison between pre-training and post-training fuel consumption demonstrated a 6.3% greater improvement in fuel consumed per kilometer in the training group than the control group.

Simulation Training Impacts on Tires

Tires represent a key maintenance cost of modern haul trucks and a powerful area for cost containment. Poor operator practices lead to premature tire replacements.

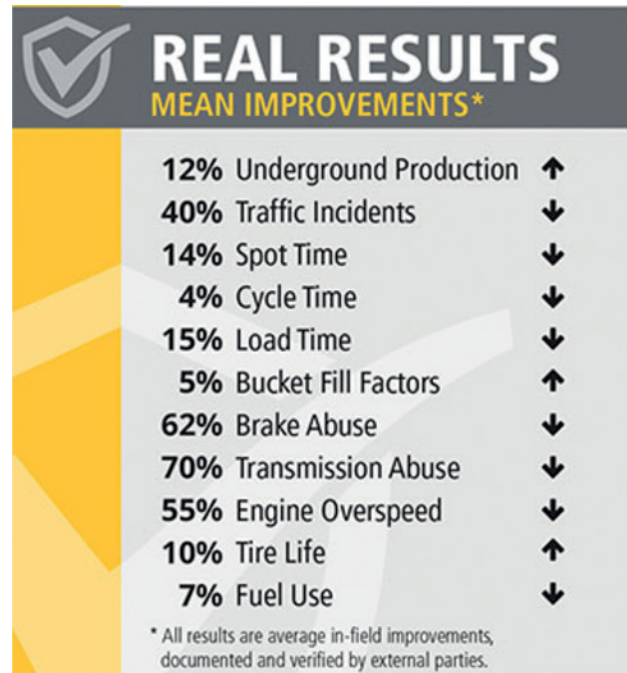


Photo 4: Immersive Technologies works closely with mining operations and equipment manufacturers to solve real mining industry problems in areas of safety, productivity, reactive maintenance and the availability of skilled equipment operators. This approach has allowed Immersive Technologies to consistently deploy solutions that deliver Real Results, while accumulating an extensive catalogue of quantified business improvements achieved by our global mining customers.

This particularly affects mining operations in times of high demand and tire scarcity. Properly trained operators extend tire life without impacting productivity. Immersive Technologies delivers an average of 10.4% increased tire life through their Advanced Equipment Simulator training. This training gives equipment operators the skills and knowledge they need to operate in a productive manner while assessing and eliminating behaviors that cause unnecessary tire wear.

The simulator technology includes detailed monitoring of operator behaviors which directly impact tire wear including operation around spillage, dry steering, aggressive cornering and usage of service brakes at excessive speeds. This has resulted in an enhanced assessment tool for managers to determine which tire wear operator behaviors are most prevalent on their site and represent the greatest opportunities for cost reduction.

REF#UM00913

Crude Oil Producer, Canada

A Continuous Improvement Project was initiated utilizing an Advanced Equipment Simulator as the agent to change employee behavior in the field.

Operators with the lowest performance scores were trained to avoid obstacles reducing tread impacts and sidewall cuts.

The same groups of operators were trained to reduce dry steering to reduce tread and bead separation.

Resulting in 33% Decrease in Tire Replacements.



Photo 5: WorksiteVR Quest from Immersive Technologies a tool designed for the mining industry that allows users to virtually experience and engage safely in worksite environments. It assists its users in understanding safety hazards, procedures and emergency situations in order to make mines safer and more profitable.

Market Leading Virtual Reality Training for Mining

As the market leader in next generation training technologies Immersive Technologies is leading the way in virtual reality development with WorksiteVR™ Quest which allows users to virtually experience, engage and understand surface and underground environments, safety hazards and emergency situations.

WSVRQ is the safest possible environment to conduct mine training activities, using scenarios that make it easy to train, benchmark and assess operators within an office or training facility. The trainee undergoes short, high-impact learning experiences which lead to high levels of learning retention.

Conclusion

Immersive Technologies has deployed over 80% of the Advanced Equipment Simulators operating around the

world to the broadest range of mining environments. This experience, together with ongoing feedback from customer base and Original Equipment Manufacturer alliance partners, has provided Immersive Technologies with the knowledge necessary to develop the most accurate, reliable and outcome oriented Equipment Simulators.

Immersive Technologies' Equipment Simulators are supported by the industry's most comprehensive range of compatible tools, technologies and professional services. This ensures a solution to meet or exceed your needs can be defined, delivered, implemented and generating operational results quickly and with very low risk.

Immersive Technologies solutions harness the power of data to improve safety and profitability in mining operations. Detailed information is captured allowing for in-depth assessment of equipment operator strengths and weaknesses.

Le financement des projets miniers aurifères : étapes, acteurs et critères de financement

Par Sylvain ECKERT
Natixis

Les projets miniers aurifères sont avant tout des projets miniers ; ils sont en cela très différents d'autres projets industriels. Le temps entre la découverte d'un gisement et sa mise en production est important : le projet passe en effet par de nombreuses étapes qui font intervenir des investisseurs de natures différentes, dont les attentes en termes de retour sur investissement sont très différentes, elles sont en ligne avec leur capacité à assumer les risques liés au développement du projet.

Après avoir décrit les différentes étapes d'un projet minier aurifère, nous présenterons les mécanismes et les acteurs du financement. Seront également présentés les caractéristiques des différents types d'investisseurs – en capitaux propres, des fonds de capital-risque, des banques commerciales ou des fonds hybrides –, ainsi que leur mode d'intervention et leur appétence aux risques inhérents à un projet aurifère.

Les critères de financement des différents types d'investisseurs précités, à chaque étape du développement du projet, seront également décrits.

Les différentes étapes d'un projet minier

Avant de pouvoir aborder les mécanismes et les options de financement, il est nécessaire de présenter les différentes étapes d'un projet minier, depuis la phase d'exploration régionale jusqu'à l'achèvement du projet, ainsi que les spécificités des projets miniers lesquelles diffèrent substantiellement de celles d'autres projets industriels majeurs.

Étapes du développement

L'exploration

Un projet minier démarre au stade de l'exploration, qui repose sur une sélection d'environnements géologiques propices à la présence d'or. S'ensuit une phase de prospection géologique, géochimique et géophysique, qui va permettre de déterminer des cibles, lesquelles seront testées par sondages.

Une fois la minéralisation confirmée, des sondages complémentaires sont alors nécessaires pour déterminer la quantité et la qualité du minerai, ce qui permet une première estimation des ressources et la confirmation de l'existence d'un gisement, et plus précisément si une exploitation économiquement rentable est envisageable.

Le développement

Il est ensuite nécessaire de prouver la faisabilité de l'exploitation d'un projet minier, ce qui implique la réalisation de sondages supplémentaires pour acquérir des données devant permettre de caractériser le gisement, de réduire l'incertitude liée à son volume, à sa qualité (à ses ressources), et de déterminer une méthode d'exploitation qui définira la partie techniquement et économiquement exploitable des ressources, plus concrètement les réserves.

Les études d'ingénierie avancent jusqu'à un stade où le niveau de précision est jugé acceptable, notamment pour qu'il soit cohérent avec le niveau de risque que sont prêts à prendre les investisseurs en capital et les créanciers (banques, fonds...) actifs en financement de projet.

Dans cette phase, les besoins de financement sont significativement plus élevés que dans la précédente, un ordre de grandeur qui peut être de quelques centaines de milliers à quelques millions de dollars américains. La réalisation de ces travaux se chiffre généralement en dizaine de millions de dollars américains (\$US).

Cette phase se conclue par la fourniture d'une étude de faisabilité (compilation de différentes études), qui donne

aux financeurs potentiels une appréciation argumentée du projet avec un degré de certitude standard (typiquement une incertitude sur les coûts variant de + 15 % à - 10 %). Cette étude peut également faire l'objet d'audits indépendants réalisés pour le compte des investisseurs potentiels, qui vont confirmer la qualité des données produites et celle de leur interprétation, ainsi que l'adéquation de la compatibilité du niveau de risque avec celui que sont prêts à assumer les investisseurs potentiels.

La construction

La phase de construction est la phase dans laquelle l'intensité capitalistique est maximale. L'ingénierie de détail progresse pour définir les spécifications de l'équipement nécessaire et acheter celui-ci avant l'engagement des travaux de construction et de montage. Les investisseurs sont tout particulièrement soumis aux risques que recouvrent la construction d'un grand projet, jusqu'à son achèvement.

L'opération

L'achèvement de la mine intervenant plusieurs années après la découverte et la réalisation de l'étude de faisabilité, il est fréquent que les hypothèses retenues initialement pour prendre les décisions d'investissement, à la fois en termes de prix (variation des cours des métaux) et de coûts (certaines options techniques, par exemple), ne soient plus d'actualité.

Les besoins en financement varient grandement d'une étape à l'autre et sont dépendants de la disponibilité des différents types d'investisseurs (différenciés par le niveau de risque qu'ils sont prêts à prendre et les gains potentiels qu'ils espèrent en retirer). Bien que le schéma de développement soit le même pour de nombreuses substances, c'est l'or qui continue d'attirer la majorité des investissements en phases d'exploration et de développement réalisés dans le monde (SCHODDE, 2017).

Les caractéristiques d'un projet minier

Le gisement évalué, il faut prendre en compte les caractéristiques uniques du projet minier, et cela vaut pour l'ensemble des acteurs qui s'intéressent à son développement et à son financement. Ce sont :

- Les impacts sociaux et environnementaux qu'un projet de taille significative va générer, et les tensions locales, régionales ou nationales que le développement de celui-ci peut engendrer (mis en balance avec le bénéfice économique du projet sur cette même zone impactée).
- La durée de vie finie du projet (la quantité finie des réserves) même si l'extension du gisement peut ne pas être entièrement connue au démarrage des opérations (extensions du gisement pendant la phase d'exploitation).
- La qualité des minerais diffère d'une mine à l'autre : la teneur étant la plus évidente. Mais les caractéristiques métallurgiques peuvent aussi influencer la récupération métallurgique, et donc les coûts de production.
- Des paramètres physiques et/ou géométriques du minerai ou de son encaissant, qui influencent, dans le cas d'une mine à ciel ouvert, le ratio de découverte, et,

dans le cas d'une mine souterraine, la méthode minière applicable.

- L'accessibilité, laquelle est particulièrement critique pour les minerais pondéreux.
- La fixité du gisement, qui implique de prendre en compte les contraintes propres au pays dans lequel le gisement est situé, et dans lequel les équipements seront déployés.

En plus de ces caractéristiques qui sont communes à l'ensemble des minerais/matières qui peuvent être exploités, il faut considérer les particularités propres à l'or (en termes de qualité du produit de la mine et d'éléments de marché).

L'or peut se trouver dans de nombreux environnements géologiques, il peut même parfois constituer un sous-produit de mines de cuivre (on peut, par exemple, le trouver dans les porphyres cuprifères andins) ou de minerais polymétalliques (minerais de la ceinture pyritique ibère). Mais l'essentiel de l'or est extrait en tant que substance principale dans une variété d'environnements géologiques qui peuvent influencer les techniques de récupération (à la fois minières et métallurgiques). Parmi les caractéristiques propres à l'or, l'on peut citer :

- Le rôle de l'altération de surface et la présence d'or libre dans des profils d'altération latéritiques – ce qui permet une récupération par voie gravimétrique, ou par lixiviation directe – à opposer aux minerais réfractaires dans lesquels l'or est prisonnier dans une matrice de sulfures.
- La nature et la géométrie des zones minéralisées, qui peuvent nécessiter l'emploi de méthodes minières sélectives.
- La potentielle réfractarité des divers types de minerai, qui peuvent être de différentes natures ; ils peuvent notamment se présenter sous une forme combinée, comme la présence d'or inclus dans des sulfures ou des sulfures arséniés, ou la présence de carbone dans le minerai qui peut influencer négativement la récupération métallurgique (effet *preg robbing*).

D'un autre côté, la taille des opérations aurifères – à l'exception de quelques projets exceptionnels – est généralement modeste en comparaison des projets de pondéreux (minerai de fer, bauxite) ou de cuivre. Cela implique que l'équipement utilisé pour réaliser les opérations minières tout comme les usines de traitement soient facilement et rapidement disponibles chez les constructeurs, et que leurs performances aient été démontrées.

On constate que dans la majorité des cas, les projets aurifères présentent des caractéristiques assez comparables en termes de taille et de production, et, généralement, en termes de réserves et de coûts d'investissement initiaux. Ces points sont importants, car ils indiquent une certaine standardisation des projets miniers des points de vue du *design* et de l'équipement. Ils sont en plus généralement conçus et construits par les mêmes équipes d'un nombre restreint d'ingénieries, ce qui limite de manière importante les risques de construction et d'achèvement (Lycopodium, 2018), même avec des structures contractuelles qui ne transfèrent pas le risque du propriétaire vers le constructeur.

Enfin, une dernière particularité des mines d'or est qu'elles utilisent généralement le cyanure comme réactif, un produit



Figure 1 : Mine d'or où la transition entre le minerai altéré et du minerai primaire est visible.

potentiellement hautement toxique pour l'environnement, et dangereux. Mais heureusement leurs modes d'utilisation sont parfaitement maîtrisés par l'industrie aurifère.

Les différentes options de financement

Les compagnies minières aurifères ont accès aux mêmes sources de financement que les autres projets miniers.

Les options de financement disponibles vont dépendre du stade d'avancement du projet et, dans une moindre mesure, de sa taille. On peut distinguer trois sources principales de liquidité pour un projet *greenfield*, auxquelles s'ajouteront les *cash flows* générés par l'opération minière sur une opération existante :

- l'apport en capitaux propres ;
- la dette ;
- les sources de liquidités hybrides (redevances/royautés, acquisition de flux).

Les acteurs du financement interviennent à différentes étapes du projet, qui correspondent à des niveaux de risques, mais également d'espérance de gains très différents.

À l'étape de l'exploration, l'essentiel du financement repose sur des capitaux propres, car la possibilité de trouver un gisement exceptionnel est faible. Mais en cas de découverte, le gain peut être très important. À l'autre extrémité du spectre des financements, la dette senior s'appuie sur des *cash flows* établis et prévisibles moyennant une incertitude sur le prix. Elle n'est cependant pas mieux rémunérée dans

le cas où le projet se révèle plus prometteur, notamment une durée d'exploitation plus longue que prévu.

Les acteurs du financement des projets miniers

Les sources de financement disponibles pour un projet donné dépendent de son stade d'avancement, plus particulièrement du niveau d'incertitude lié à son développement, et de la priorité des remboursements du principal.

Au stade de l'exploration, seules des levées de capitaux propres sont mobilisables. Une fois que des cibles tangibles ont été identifiées, les projets peuvent faire appel aux marchés de capitaux spécialisés.

Au fil de l'avancement du projet, et même si les levées de fonds sur les marchés de capitaux restent la source privilégiée de financement, les sources de liquidités se diversifient : les compagnies minières peuvent souscrire de la dette à haut rendement, ou recourir à des solutions hybrides proposées par des capital-risqueurs.

Une fois qu'un plan de développement (une étude de faisabilité accompagnée d'un modèle financier complet) est disponible, l'accès à de la dette commerciale senior (financement de projet) est possible, celle-ci sera dimensionnée en fonction des résultats du modèle financier.

Les marchés de capitaux

Il y a deux principales bourses sur lesquelles les compagnies d'exploration « juniors » peuvent traditionnellement lever des capitaux : celle de Toronto (le TSX, Toronto



Figure 2 : Exploitation sélective de minerai d'or.

Stock Exchange) et l'ASX (Australian Stock Exchange). Les bourses de Johannesburg et de Londres sont également envisageables, mais dans une moindre mesure.

Il s'agit de marchés qui se sont spécialisés dans le domaine des ressources naturelles et qui, au fil des ans, se sont dotés de règles spécifiques en matière d'information des investisseurs, notamment en ce qui concerne les règles qui doivent être suivies pour établir les rapports de ressources et de réserves.

L'émergence des fonds hybrides

Depuis quelques années, on assiste à l'émergence de fonds hybrides : initialement des fonds de royalties ou de *streaming*, qui se sont transformés en fonds capables d'intervenir à tous les étages de la structure du capital des compagnies minières développant un projet.

À l'origine, une idée simple, le *streaming*, ou la captation des flux issus des sous-produits d'une exploitation minière. Un investisseur engage des fonds en échange du droit d'acquiescer une part de la production d'un sous-produit à prix fixe décoté, sur une période de temps déterminée ou pour la durée de vie de la mine. Du point de vue de la compagnie minière listée, cela lui permet de monétiser une partie de la production qui n'est pas pleinement reconnue pour sa valeur par les investisseurs (typiquement, l'argent pour une mine d'or). Les fonds peuvent également être engagés en échange de l'octroi d'une royauté, une redevance

assise sur les revenus nets de frais de fonderie (*net smelter return*), c'est-à-dire sur le chiffre d'affaires, avec certaines déductions autorisées et définies dans l'accord.

Aujourd'hui, ces fonds de flux sont capables d'investir non seulement pour acquiescer lesdits flux, mais également d'investir en fonds propres et parfois même en dette, mezzanine ou senior. Leur investissement dans une même compagnie peut prendre simultanément plusieurs formes, il peut suppléer aux modes de financements traditionnels lorsque ceux-ci sont indisponibles.

Un point important de conception de ces instruments (*streaming & royalties*) est qu'ils sont généralement attachés au titre minier lui-même et ne sont pas limités dans le temps. Ainsi, ils survivent à un changement de propriétaire (même à la suite d'un dépôt de bilan).

Dette commerciale

Pour les projets avancés (c'est-à-dire ceux se situant au moins à l'étape de l'étude de faisabilité ou déjà en exploitation), les banques commerciales peuvent fournir les liquidités nécessaires au développement du projet ou des opérations.

Au stade de la construction du projet (au moment de la décision d'investissement), la dette commerciale senior (prioritaire dans l'ordre des paiements) est l'alternative la plus compétitive en termes de coûts par rapport à la levée

de fonds propres supplémentaires ou aux fonds spécialisés. Mais elle doit répondre à un besoin de contrôle et d'information accru. Les prêteurs veulent s'assurer que le projet qui est mené est conforme à ce qui était prévu dans l'étude de faisabilité, et donc à leurs modèles financiers ; ils souhaitent également contrôler l'objet des dépenses, ainsi que les flux issus des recettes de la société. Cette contrainte peut impacter la flexibilité stratégique (c'est-à-dire nécessité d'augmenter les dépenses d'exploration ou de démarrer le financement d'un autre projet). Elle ne doit pas en revanche impacter la flexibilité et la gestion opérationnelle du projet et de la compagnie.

Les banques commerciales peuvent intervenir en assumant un risque plein, ou, au contraire, en assurant une couverture totale mais limitée à un nombre déterminé de risques, ou partielle (assurances ou garanties d'agences de crédit export).

Il convient de noter qu'il existe d'autres sources de financement, comme ceux apportés par les organismes de développements bilatéraux ou multilatéraux, le plus actif de ces organismes étant la Société financière internationale. Peuvent également intervenir les agences de crédit export, qui, elles aussi, peuvent, comme indiqué précédemment, fournir des garanties ou des assurances ; dans certains cas, elles peuvent intervenir en prêtant directement des fonds aux projets.

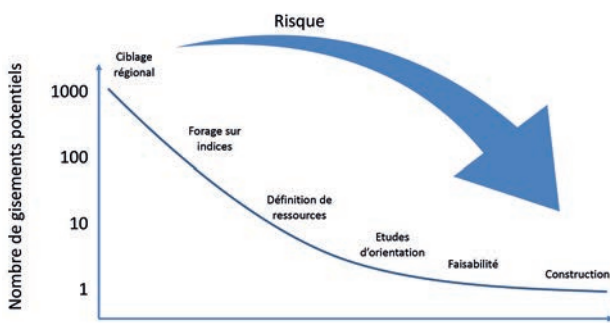


Figure 3 : Évolution du niveau de risque du projet en fonction de son avancement.

Les critères de financement

Exploration et développement

Au stade des appels aux marchés de fonds propres, c'est principalement le potentiel géologique perçu corrigé d'un facteur tenant compte du risque politique (au sens large, cela va du risque d'expropriation au risque réglementaire lié à la localisation du projet dans une région ou un pays particuliers). Une idée de la perception de l'attractivité des projets en fonction des pays dans lesquels ils se situent est donnée, par exemple, par des sondages réalisés par l'Institut Fraser (STEDMAN et GREEN, 2017).

Projets et opérations

En ce qui concerne la mise en place de dettes de type projet, l'analyse se focalisera sur les études assurant la faisabilité du projet, la résistance du projet aux scénarios de stress (en prévision d'une baisse des cours de l'or) et sur le plan d'exécution du projet.

Pour ce qui est des financements hybrides, ce sera un mix entre le risque de développement et le potentiel de croissance du projet en termes de réserves et de prix réalisé. Leur conception va en effet conduire à des flux variables dépendant des deux paramètres précités.

Dans tous les cas (projet ou opération existante), les prévisions fournies par les développeurs vont être revues consciencieusement, de manière critique, qu'il s'agisse des prévisions relatives aux performances de l'opération sur le plan technique (productivité, débit usine, coût unitaires, récupération) ou des prévisions de prix.

Ces hypothèses peuvent être discutées par des experts présents au sein des institutions bancaires. Mais, la plupart du temps, ce sont des consultants techniques qui seront sollicités. Des spécialistes en analyse du négoce des concentrés peuvent également être consultés lorsque la mine en produit plutôt qu'un doré (teneur, clients potentiels que sont les fonderies, pénalités dues à la présence de certains éléments).

L'objet de ces études est de déterminer la viabilité du projet et/ou de l'opération, et, plus particulièrement, sa capacité à rembourser les prêteurs dans des scénarios dégradés, cas où les coûts (notamment les CAPEX initiaux) sont plus importants que prévus, la production ou les prix sont plus faibles. L'analyse permettra de déterminer la nécessité de mettre en place des couvertures (sur les prix de l'or).

La réalisation de ce travail représente un investissement significatif pour une institution financière, il est d'égale importance quelle que soit la taille du projet. La rémunération des prêteurs étant liée au montant du prêt, des critères de taille minimale vont s'appliquer, par exemple sur les réserves (par exemple, 1Moz de réserves), ou sur la production annuelle (par exemple, une moyenne de 100koz).

Conclusion

Différentes sources de liquidités existent pour assurer le développement de projets aurifères ; le financement des développeurs peut s'étendre de la phase d'exploration jusqu'à la mise en production de la mine.

L'appétence au risque des différents acteurs financiers varie suivant le stade d'avancement du projet et la structure des financements mis en place. Les développeurs disposent de plusieurs options qui résultent d'arbitrages entre prix et flexibilité, un éventail d'options qui se réduit en fonction de la robustesse du projet.

Références

- SCHODDE R. (2017), "Long term trends in global exploration – Are we finding enough metals?".
- STEDMAN A. & GREEN K. P. (2017), "Fraser Institute Annual Survey of Mining Companies".
- WERTHEIM & DALLAS, "A capital opportunity", Mining, TMX.
- AME Group (2017), "Gold Strategic Market Study".
- <http://www.lycopodium.com.au/index.php?page=precious-metals> [accessed in june 2018]

Commerce illicite de l'or artisanal en Afrique subsaharienne

Par Victoria REICHEL
IMPACT

Malgré son importance en tant que source de revenus pour des millions de travailleurs africains, l'exploitation aurifère artisanale ne génère en Afrique que peu de recettes pour les États producteurs. Sont en cause l'informalité du secteur de l'exploitation artisanale minière et à petite échelle (EMAPE) et des mécanismes de financement du secteur fort complexes tout au long de la chaîne d'approvisionnement, ce qui rend très difficile le contrôle du commerce de l'or artisanal et de ses acteurs.

Dans cet article, nous nous sommes efforcée d'esquisser l'ampleur des dynamiques du commerce illicite de l'or artisanal en Afrique. En l'absence de statistiques globales fiables sur ce sujet, nous nous proposons ici de brosser un bref portrait de trois pays de l'Afrique de l'Ouest (Mali, Burkina Faso et Côte d'Ivoire), ainsi que de la région des Grands Lacs d'Afrique, en nous appuyant pour cela sur des recherches menées par l'ONG canadienne IMPACT (anciennement Partenariat Afrique Canada). Dans les deux régions africaines précitées, le commerce illicite de l'or s'effectue par contrebande transfrontalière : l'or est d'abord transporté illégalement du pays producteur vers un pays voisin, avant d'être exporté « légalement » comme s'il était issu de ce deuxième pays.

Introduction

L'exploitation minière artisanale et à petite échelle (EMAPE) de l'or est en forte progression. D'après l'Intergovernmental Forum on Mining, Minerals, Metals and Sustainable Development (IGF), le nombre de personnes travaillant dans des mines artisanales est passé de 6 millions en 1993 à 40 millions en 2017 au plan mondial. L'EMAPE aurifère représente environ 50 % du nombre total des opérateurs artisanaux et contribue à hauteur de 90 % à l'emploi total dans la production mondiale de l'or. Pour la seule Afrique, on estime le nombre des travailleurs dans l'EMAPE à près de 10 millions de personnes, dont une majorité se concentre sur l'or (IGF, 2018).

Malgré son importance en tant que source de revenus pour ces millions de personnes, l'exploitation minière artisanale en Afrique ne génère que peu de recettes pour les États producteurs. Est principalement en cause le caractère informel du secteur, qui rend son intégration dans l'économie formelle des pays producteurs très complexe. Cette informalité expose le secteur à un risque accru de flux financiers illicites et augmente le risque que des acteurs illicites en tirent des profits au détriment des femmes et des hommes qui y travaillent et des communautés locales qui en dépendent. L'or est plus particulièrement ex-

posé à ce risque, car ce métal précieux peut être utilisé de différentes façons. Il peut être un outil commercial (présentant une méthode efficace pour gérer les risques de devises et coûts associés au commerce intra-national ou transfrontalier), une devise à part entière (permettant aux exploitants artisanaux d'acquérir des biens et des services sur le marché local) ou encore jouer le rôle d'un instrument financier (permettant aux commerçants d'épargner et d'accumuler du capital facilement transportable à une meilleure valeur que des devises locales) (HUNTER, SMITH et LEVIN-NALLY, 2017 ; BLORE, 2015b). Tous ces usages sont directement en lien avec un secteur financier formel sous-développé, non accessible ou tout simplement non existant en Afrique rurale. La nature souvent illicite du commerce de l'or en Afrique (le fait d'extraire, de produire et de vendre l'or hors du cadre légal ou réglementaire) et l'informalité du secteur de l'EMAPE sont deux facteurs se renforçant mutuellement et pouvant alors être perçus comme intrinsèquement liés l'un à l'autre.

Le secteur de l'EMAPE aurifère en Afrique de l'Ouest : Mali, Côte d'Ivoire et Burkina Faso

Entre le Mali, la Côte d'Ivoire et le Burkina Faso, on estime que le secteur de l'EMAPE aurifère emploie trois millions

d'exploitants. Leur production et, par conséquent, leur pleine contribution aux économies nationales demeurent inconnues. Outre le fait qu'elles privent les États producteurs d'importantes recettes, la contrebande (c'est-à-dire les exportations non déclarées) et, son pendant, la fraude fiscale contribuent aussi à l'instabilité politique, au non-respect de la loi et à la criminalité, qui revêtent en grande partie un caractère transnational.

Dans un récent rapport (MARTIN et HELBIG de BALZAC, 2017), l'ONG canadienne IMPACT (anciennement Partenariat Afrique Canada) a relevé à quel point les chaînes d'approvisionnement dans les trois pays précités sont étroitement interconnectées. Des frontières poreuses permettent non seulement un niveau élevé de mobilité de la main-d'œuvre dans le secteur des mines, mais aussi le passage en contrebande d'un volume important de marchandises.

D'une part, la Côte d'Ivoire est la destination cible de cette main-d'œuvre mobile en raison de l'héritage de la guerre civile et de rendements aurifères plus élevés. De plus, l'or ivoirien, en raison de son haut rendement, suscite l'intérêt des acheteurs maliens et burkinabés. D'autre part, le Burkina Faso et plus particulièrement le Mali sont devenus les principales plaques tournantes de l'exportation de l'or artisanal ivoirien.

Une façon de lever le voile sur l'ampleur du commerce illicite de l'or est de croiser les statistiques officielles disponibles en matière de production et d'importation. La Figure 1 ci-après montre l'écart grandissant existant entre la production d'or malienne telle qu'indiquée par les United States Geological Services (USGS) et les importations d'or par les Émirats Arabes Unis (EAU) rapportées par Comtrade (qui est le dépositaire des statistiques commerciales officielles pour les Nations Unies). De cette comparaison, il ressort que les importations des EAU sont largement supérieures à la production d'or totale du Mali après 2012, soulevant ainsi des interrogations sur l'origine réelle de cet or.

	Production d'or rapportée du Mali (tonnes)	Importations d'or rapportées par les EAU du Mali (tonnes)
2011	35,7	9,6
2012	40,1	29,2
2013	41,4	49,6
2014	39,7	59,9
2015	41,2	66,9

Figure 1 : Production d'or malien et importations d'or du Mali 2011-2015 (COMTRADE, USGS).

À l'instar de leurs homologues d'autres pays voisins tels que la Sierra Leone ou la Guinée, les gouvernements du Mali, de la Côte d'Ivoire et du Burkina Faso ont adopté le même taux de taxe pour l'exportation de l'or (soit 3 %). En théorie, il s'agit d'une bonne pratique, puisque rien n'encourage les exportateurs à faire transiter leur or *via* la juridiction la plus avantageuse sur le plan fiscal. Toutefois, l'application de la

taxe par le Mali comporte une grande faille, car elle ne s'applique qu'aux 50 premiers kilogrammes. Elle continue donc à inciter les acheteurs et exportateurs d'or de la région à contourner les contrôles officiels en exportant officiellement leur or *via* le Mali plutôt que par les pays d'extraction d'origine. Par conséquent, les pays voisins du Mali sont privés d'importants revenus fiscaux, puisque les négociants font traverser l'or en contrebande s'affranchissant de toute frontière pour tirer profit de l'allègement fiscal. En outre, des forces rebelles peuvent profiter de cette contrebande en prélevant des taxes illégales sur des intermédiaires intervenant dans le secteur artisanal de l'or, comme l'a confirmé un rapport du Groupe d'experts des Nations Unies sur la Côte d'Ivoire, en 2015.

La situation dans la région des Grands Lacs

Plus encore que l'or de l'Afrique de l'Ouest, c'est l'or artisanal (ses origines, ses voies de transport et ses points d'exportation) de la région des Grands Lacs d'Afrique qui a retenu l'attention des acteurs tant nationaux qu'internationaux, au cours des dernières décennies. Pour les acteurs internationaux, l'implication financière des groupes armés dans les chaînes d'approvisionnement en or issu de l'EMAPE de la République démocratique du Congo (RDC) a été le principal sujet de préoccupation. Pour les gouvernements nationaux de la région, les flux transfrontaliers illégaux et la contrebande de l'or représentaient les plus grands fardeaux, notamment par les pertes de recettes induites en termes de redevances.

Une enquête de 2015 a relevé que le problème de l'or de contrebande n'est pas confiné au trafic transfrontalier régional, pas plus qu'il ne l'est à la RDC. C'est en fait un problème régional d'ampleur qui touche une grande partie des pays producteurs de la région, sans qu'aucune redevance ne soit payée à l'un ou à l'autre des États membres de la Conférence internationale de la Région des Grands Lacs (CIRGL). Ainsi, au cours d'une période de trois années, les quantités d'or de l'EMAPE exportées en contrebande hors de la région de la CIRGL ont doublé pour atteindre plus de 22 tonnes en 2011 (BLORE, 2015a).

Comme pour les pays de l'Afrique de l'Ouest, on estime que dans la région des Grands Lacs, les différences de taux de redevances à l'exportation existant entre les pays voisins sont un moteur important du trafic transfrontalier de l'or. Ainsi, la différence de 3 % entre le taux adopté par la RDC (3,5%) et celui en vigueur en Ouganda et au Burundi (qui est de 0,5% dans chacun de ces deux pays) est considérée comme l'une des principales raisons de l'existence de réseaux transfrontaliers en RDC, ce qui explique pourquoi une grande partie de l'or congolais quitte la RDC pour transiter *via* les deux pays précités.

Très récemment, le Groupe d'experts des Nations Unies sur la République démocratique du Congo (2018) notait qu'outre l'Ouganda, le Rwanda était en train de devenir un exportateur majeur d'or à l'échelle de cette région, des volumes d'export incluant l'or de contrebande en provenance de la RDC et d'autres pays voisins.



Échoppe proposant le rechargement de téléphones mobiles sur le site de la mine d'or artisanale de Tikando, Burkina Faso, août 2015.

« L'or sert donc comme moyen de paiement pour divers services de base, comme permettre aux exploitants de subvenir à leurs besoins dans les campements (achat de nourritures, par exemple), mais aussi pour financer les opérations minières proprement dites et acheter l'équipement de base (bottes, pics, pelles, etc.). »

Le préfinancement dans le commerce de l'or

Outre la taxation, il existe d'autres moteurs de la contrebande dans le commerce de l'or. Le préfinancement en est un, c'est d'ailleurs un moteur majeur. Partout en Afrique, le commerce artisanal de l'or est basé sur un système tentaculaire de préfinancement qui s'étend de l'exploitant minier individuel jusqu'au grand acheteur présent dans les métropoles nationales, à partir desquelles l'or est exporté vers le marché international.

Au niveau des sites miniers, cette pratique du préfinancement a pour conséquence que des communautés entières vivent au rythme de l'économie de l'or, un système de crédits et d'emprunts où l'or constitue une monnaie d'échange. L'or sert donc comme moyen de paiement pour divers services de base, comme permettre aux exploitants de subvenir à leurs besoins dans les campements (achat de nourritures, par exemple), mais aussi pour financer les opérations minières proprement dites et acheter l'équipement de base (bottes, pics, pelles, etc.). L'isolement géographique des sites miniers favorise l'instauration et la pérennité des monopoles d'achat que représentent les négociants d'or locaux (MARTIN, 2017 ; BLORE, 2015b).

Le plus souvent, le préfinancement est le résultat d'une absence quasi complète d'infrastructures financières formelles dans les pays africains producteurs d'or. Le risque, ici, est évidemment que des acteurs en lien avec des groupes armés comblent ce vide, et que le commerce de l'or finance directement ou indirectement des conflits locaux ou régionaux.

Une destination privilégiée pour l'or, Dubai

Parfois, les chaînes de préfinancement s'étendent même jusqu'aux centres d'affinage, en Suisse ou aux EAU. Le rôle joué par Dubaï dans le commerce international de l'or, y compris dans la commercialisation de l'or de l'EMAPE exporté illégalement, a été particulièrement mis en avant par de multiples études et rapports (GLOBAL WITNESS, 2014 ; BLORE, 2015). D'une part, les EAU déploient des technologies d'avant-garde pour faciliter les flux touristiques. On pense par exemple aux nouveaux « tunnels aquarium » qui, grâce à la reconnaissance faciale, permettent aux voyageurs un passage en douanes en contemplant des poissons (CONDAMINE, 2017). D'autre part, ils n'exercent que peu, voire pas du tout de surveillance au niveau des achats de l'or : les contrôles douaniers et les contrôles des importations sont des plus laxistes,

les affineurs et les banques n'ont, quant à eux, pas mis en place de systèmes pour contrôler la légalité de la provenance de l'or dont ils font le commerce. Une « facilitation du trafic » manifestement sélective qui ne correspond que parfaitement au profil que Mike Davis (2006) a dressé de l'État dans son essai *Le Stade Dubaï du capitalisme*.

Blore (2015) a démontré qu'en 2011, près de 80 % de l'or de l'EMAPE de la région de la CIRGL, qui sont arrivés à Dubaï l'ont été de façon illégale. Une autre enquête (GLOBAL WITNESS, 2013) a montré qu'en 2013, Dubaï était la principale destination de l'or congolais blanchi au Burundi et que plus de 70 % de l'or exporté à partir du Burundi provenait de la partie sud de l'Est de la RDC, là où la majorité des mines d'or sont contrôlées par des rebelles qui abusent notoirement de leur pouvoir. En l'occurrence, l'or qui finance des groupes armés dans la partie nord de l'Est de la RDC passe par l'Ouganda, et une grande partie de ce trafic a également pour destination Dubaï.

L'étude de cas du Mali (voir la Figure 1 de la page 36) montre aussi le rôle joué par les EAU dans le commerce de l'or, aussi bien légal qu'illicite, en provenance de l'Afrique de l'Ouest. La plus grande partie de l'or industriel du Mali étant exporté vers des affineurs de la Suisse et de l'Afrique du Sud, les chiffres considérés soulèvent des questions sur l'origine de cet or, de même que sur l'intégrité des procédures et des pratiques d'importation mises en œuvre par des acheteurs établis dans les EAU.

Conséquences

Les fuites illicites de capitaux ont coûté chaque année à l'Afrique subsaharienne 52,9 milliards de dollars américains (\$US) en moyenne (environ 5,5 % du PIB de la zone précitée) entre 2003 et 2012 (KAR et SPANJERS, 2014), privant ainsi les économies africaines d'énormes recettes fiscales. L'étendue exacte du problème pour le secteur de l'or n'est pas connue, on sait en revanche que la plupart de ces fuites ont lieu dans le secteur des ressources naturelles.

Dans des situations d'après-conflit, l'or demeure souvent une cause d'instabilité, dans la mesure où les réseaux informels s'avèrent souvent plus durables que les tentatives faites pour mettre en place des chaînes d'approvisionnement légales. La plupart du temps, dans les pays où la gouvernance des ressources manque de rigueur, les gouvernements tentent de réaffirmer leur contrôle en adoptant des lois et des mesures inappropriées intervenant au détriment de l'activité des orpailleurs, et ce d'autant plus que parfois des opérations d'application draconiennes sont menées lorsque ces lois et mesures sont ignorées (la politique minière de la Côte d'Ivoire parle par exemple d'opération de déguerpissement, d'assainissement ou de rationalisation de l'orpaillage). Ces interventions exacerbent la situation ; elles aliènent les travailleurs et les poussent plus encore vers le commerce illicite ou engendrent même une violence évitable.

Afin que le secteur de l'EMAPE puisse véritablement jouer son rôle de créateur d'emplois et de recettes fiscales pour les gouvernements africains, les pays producteurs doivent

amplifier leurs efforts pour arriver à formaliser le secteur. En même temps, la responsabilité d'un contrôle efficace de la circulation de l'or de l'EMAPE ne peut pas seulement incomber aux gouvernements africains, il faut également que celle-ci soit assumée par les acteurs se situant en aval de la chaîne d'approvisionnement ainsi que par les affineurs et les acheteurs internationaux qui se doivent d'exercer une plus grande diligence raisonnable sur l'or exporté hors de ces pays.

Cette diligence raisonnable, telle que définie par l'OCDE (et adoptée par les États membres et acceptée par les EAU depuis 2010), prévoit justement le partage des responsabilités en matière d'origine des minerais entre les producteurs, les intermédiaires, les négociants, les affineurs, les financiers/banquiers et les utilisateurs finaux. Si le commerce illicite de l'or africain a continué son essor depuis, ceci n'est en aucun cas imputable aux seuls gouvernements des pays producteurs (et encore moins aux exploitants artisanaux eux-mêmes), cela constitue bien plus un échec collectif de tous les acteurs de la chaîne d'approvisionnement.

Bibliographie

BLORE S. (2015a), « La contrebande de l'or dans la région des Grands Lacs. Les flux d'or transfrontaliers dans la région et la contrebande vers l'extérieur de la région », Ottawa, Partenariat Afrique Canada.

BLORE S. (2015b), *Capacity Building for a responsible minerals trade. Working with producers to responsibly source artisanal gold from the Democratic Republic of the Congo*, Burlington, Tetra Tech.

CONDAMINE X. (2017), « L'aéroport de Dubaï va se doter de tunnels aquarium à reconnaissance faciale pour fluidifier les contrôles de sécurité », *Huffington Post*, 10 octobre.

DAVIS M. (2006), *Le Stade Dubaï du capitalisme*, Paris, Les Prairies Ordinaires.

Global Witness (2014), "City of Gold " Why Dubai's first conflict gold audit never saw the light of day", London.

Groupe d'experts des Nations Unies sur la Côte d'Ivoire (2015), Final report of the Group of Experts on Côte d'Ivoire pursuant to paragraph 27 of Security Council resolution n 2219 (2015), United Nations Security Council, S2016_254, 17 mars 2016, p. 23, paragraphe 84.

Groupe d'experts des Nations Unies sur la République démocratique du Congo (2018), Final report of the Group of Experts on the Democratic Republic of the Congo, United Nations Security Council, S2018_531, 4 juin, p. 23, paragraphe 128.

HUNTER M., SMITH A. & LEVIN-NALLY E. (2017), "Follow the Money. Financial flows linked to Artisanal and Small-Scale Gold Mining".

Intergovernmental Forum on Mining, Minerals, Metals and Sustainable Development (IGF) (2018), "Global Trends in Artisanal and Small-Scale Mining (ASM): A review of key numbers and issues", Winnipeg, IISD.

KAR D. & SPANJERS J. (2014), "Illicit Financial Flows from Developing Countries: 2003-2012", Global Financial Integrity, Washington DC.

MARTIN A. (2017), « L'Eldorado ouest-africain : cartographie du commerce illicite de l'or en Côte d'Ivoire, au Mali et au Burkina Faso », Ottawa, Partenariat Afrique Canada.

MARTIN A. & TAYLOR B. (2014), « Tout ce qui brille n'est pas or : Dubaï, le Congo et le commerce illicite des minéraux de conflit », Ottawa, Partenariat Afrique Canada.

UN Comtrade, International Trade Statistics Database : <https://comtrade.un.org/>

"USGS 2015 Minerals Yearbook", Gold [Advance release] U.S. Geological Survey, 2015, Table 8, p. 31.14.

La structure des marchés de l'or physique en 2018

Par Gaétan LEFEBVRE
et Mathieu LEGUÉRINEL

Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM)

La demande mondiale d'or est traditionnellement répartie entre cinq secteurs majeurs : la joaillerie, les applications technologiques, les Exchange Traded Funds (ETFs), les banques centrales et la production de pièces et lingots. Les deux premiers secteurs représentent des parts relativement stables, et donc prévisibles de la demande totale, respectivement autour de 55-60 % et 8 %. En revanche, les secteurs liés à l'investissement, c'est-à-dire au rôle financier de l'or sur les marchés (achat de pièces et lingots, stocks des banques centrales, ETFs), peuvent présenter des variations importantes d'une année sur l'autre, étant plus sensibles aux facteurs macroéconomiques. En 2018, malgré des tensions sur les prix sur fond de guerre commerciale entre Pékin et Washington, la transparence est au cœur des réflexions sur la cotation et l'échange d'or sur les principales places de marché mondiales, constituant ainsi une orientation importante du secteur.

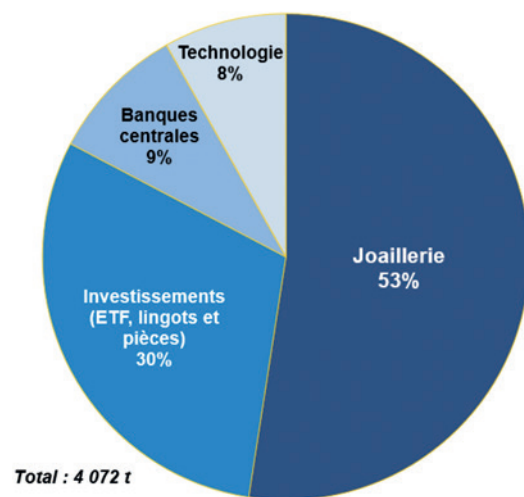
Les usages industriels de l'or

Les utilisations de l'or dans de nombreuses technologies

Cette part de la demande est stable : elle s'établissait en 2017 à environ 8 % de la demande totale, un niveau proche des années précédentes, selon les données du World Gold Council. Seules des augmentations exceptionnelles des prix, comme celle ayant conduit au pic historique de 2011 (1 896 dollars l'once), peuvent pousser les industriels à trouver des substituts à l'or, par souci d'économies. Néanmoins, trois propriétés font de l'or un composant indispensable et difficilement substituable pour bon nombre d'industries : c'est un excellent conducteur d'électricité, il est inoxydable et très malléable.

L'électronique représente environ les deux tiers de la demande d'or pour les applications technologiques (200-300 tonnes). Presque tous les appareils haut de gamme, ainsi que les cartes électroniques, télévisions, GPS, ordinateurs, smartphones etc. embarquent des composants électroniques utilisant de petites quantités d'or. Celui-ci assure la conductivité électrique et contribue à leur inoxydabilité. En aéronautique et aérospatiale, l'or est indispensable pour fabriquer des câbles d'interconnexion de quelques microns d'épaisseur, pour recouvrir des panneaux isolants et pour servir de lubrifiant entre les pièces mécaniques. En dentisterie, l'or reste un matériau incontournable en tant que matériel chimiquement inerte, non allergène et facile à travailler. Dans le domaine médical, il est également indispensable en matière de technologies

d'imagerie médicale et de radiothérapie. Enfin, il fait l'objet de nombreux projets de recherche en nanotechnologies et peut être également utilisé en catalyse automobile (réduction des émissions de CO₂), pour la purification de l'eau ou encore le contrôle de la pollution atmosphérique.



Source : World Gold Council, 2018

Figure 1 : Répartition de la demande d'or par secteurs en 2017.

La demande d'or en joaillerie

Historiquement, la joaillerie représente la part la plus importante de la demande totale. Cette part a augmenté pour atteindre 2 136 tonnes en 2017 (+ 4 % par rapport à 2016). Ces dernières années, l'Inde et la Chine ont été les principaux moteurs de la croissance de la demande

d'or en joaillerie, en grande partie pour des raisons culturelles. En effet, offrir des présents contenant de l'or (bijoux, pièces de monnaie, lingots, etc.) est chose courante dans nombre d'événements comme la période du Nouvel An chinois ou à l'occasion de mariages en Inde. Ces derniers génèrent à eux seuls près de 50 % de la demande annuelle d'or du pays. En 2017, près de 1 210 tonnes ont été achetées par les consommateurs chinois et indiens (respectivement 647 et 563 kg).

La demande d'or en tant que produit d'investissement, le principal facteur d'évolution des prix

La demande d'or des banques centrales

Le stock d'or total détenu par les banques centrales dans le monde est évalué à 33 735 tonnes (World Gold Council, juillet 2018). Entre 2011 et 2017, 3 609 tonnes d'or ont été achetées par les banques centrales, ce sont les années les plus actives depuis 1971. En 2017, cette demande a représenté 9 % du total des achats d'or, soit 371 tonnes, chiffre en décroissance depuis 2015 (la baisse enregistrée est de - 5 % par rapport à 2016 et de - 37 % par rapport à 2015).

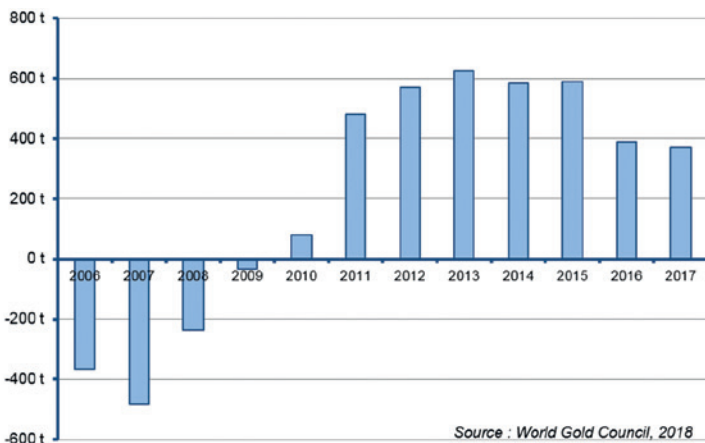


Figure 2 : Demande en or des banques centrales (2006 - 2017).

Pour les banques centrales, les stocks d'or constituent un bouclier contre le relativisme monétaire, un moyen de diversification des réserves de change (au détriment du dollar américain) et la seule véritable valeur refuge en cas de crise généralisée. Ce sont les banques centrales des pays émergents qui ont en grande partie tiré cette demande ces dernières années, avec en tête celles de la Chine et de la Russie, suivis par certains États très actifs, comme le Kazakhstan et la Turquie. Les stocks des pays développés restent néanmoins très largement majoritaires, en particuliers les États-Unis qui détiennent 8 133 tonnes d'or, dominant largement l'Allemagne et ses 3 371 tonnes d'or.

Les ETFs (Exchange Traded Funds)

Aussi qualifiés d'« or papier », ces produits financiers sont apparus sur le marché à partir de 2004, concomitamment à l'entrée sur les marchés financiers des matières pre-

mières minérales comme classes d'actifs à part entière. Ces actifs étaient d'abord gérés de manière « passive », au sein de fonds indiciels (un panier de différentes matières premières composait un indice dont l'évolution permettait d'orienter les décisions à l'achat ou à la vente). Cette gestion, bien que peu coûteuse et très performante sur le long terme, a été remise en cause par la crise de 2008. Les Exchange Traded Products (ETPs) ont alors été créés, dans le but d'adapter la structure des fonds à une architecture plus accommodante et réactive.

Les ETFs (Exchange Traded Funds) sont les premiers représentants de ces produits. Juridiquement, ce sont des titres de placement, c'est-à-dire qu'ils sont négociables en Bourse à l'instar d'actions et sont exposés à des sous-jacents plus ou moins diversifiés. Certains d'entre eux offrent la possibilité d'être exposés directement à un stock de métal, ce qui est le cas pour l'or. Ce sont ainsi des moyens d'investissement à gros volume, car ils permettent d'investir sur le marché de l'or sans qu'il y ait besoin d'acquérir d'or physique pour l'acheteur, donc sans frais liés à la garde de l'or, ni de frais de transaction, de réception ou d'expédition. Des stocks d'or physique tiennent toutefois lieu de garantie de ces achats.

Un grand nombre de fonds ETFs ont émergé, ils concernent principalement les métaux précieux (et quelques métaux rares). Concernant l'or, les principaux fonds exposés au métal sont situés aux États-Unis, en Suisse, au Royaume-Uni (par exemple, SPDR Gold Shares, Gold Bullion Securities, Sprott Physical Gold Trust et Central Fund of Canada) et, plus récemment, en Asie. La nature hybride de ces fonds offre une gestion souple et liquide, et une grande réactivité aux renversements de tendance. Les positions de ces investisseurs ont une influence directe sur les prix du métal, car ils ont généralement un fort effet d'entraînement. Ainsi, dès que ces fonds investissent dans l'or, que ce soit à la hausse ou à la baisse, ils sont immédiatement suivis par de nombreux acteurs, dont les particuliers (achat ou vente de pièces et de lingots). L'effet de masse renforçant encore l'effet spéculatif, les prix s'alignent mécaniquement sur ces tendances. C'est un facteur important d'augmentation de la volatilité de l'or sur les marchés. Ce phénomène s'est produit notamment en 2016. Le début d'année 2018 a également été marqué par un retour important des investisseurs sur les ETFs (2 470 tonnes d'or détenues par ces

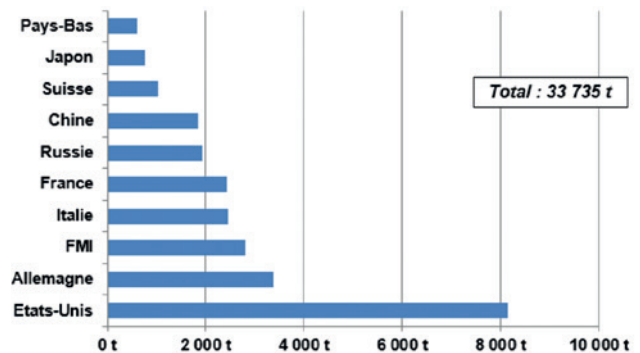


Figure 3 : États des réserves d'or des banques centrales (juillet 2018).

fonds pour une valeur de plus de 104 GUS\$), puis par un retournement de tendance dès les prémices de la guerre commerciale lancée par Donald Trump. Cette réactivité est en grande partie responsable de la volatilité du cours de l'or observée au cours de l'année 2018.

L'achat privé de pièces et de lingots

Si la démarche est différente de l'investissement en ETFs, c'est également un placement d'épargne que les particuliers voient dans ce type de produits d'or « physique ». Les logiques sont ainsi très similaires et les périodes de forte demande sont corrélées avec des périodes d'incertitudes économiques et de baisse des marchés. Historiquement, les plus gros pays consommateurs sont la Suisse, l'Allemagne, les États-Unis, la Thaïlande, l'Iran et la Turquie, et plus récemment, l'Inde et la Chine.

Cependant, un paradoxe est que les périodes de croissance économique bénéficient également aux investissements dans ces achats privés d'or, illustrant à la fois la hausse conjoncturelle du pouvoir d'achat des particuliers et le rôle de l'or dans la diversification des portefeuilles des investisseurs.

Les prix

À partir de 2006, l'or a affiché des prix historiquement hauts, atteignant son paroxysme en septembre 2011, où son prix a frôlé les 1 900 dollars l'once (US \$/oz). Le prix moyen de l'or sur l'année 2017 a été de 1 257 \$/oz, soit en légère hausse par rapport à 2016 (1 250 \$/oz). L'année 2018 montre une situation contrastée. Après une tendance très positive pour le prix de l'or sur les premiers mois, avec le franchissement de la barre des 1 350 \$/oz, fin janvier,

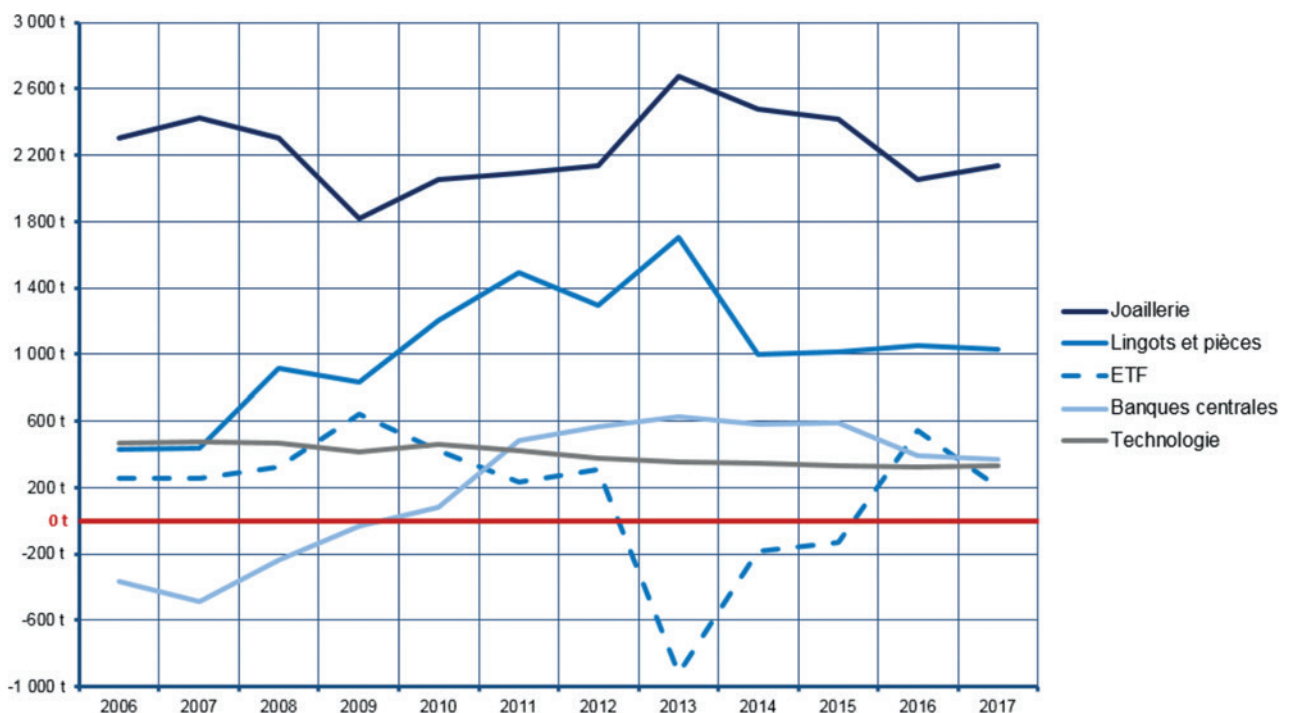
la faiblesse de la demande indienne, le renforcement du dollar et le changement de positions des investisseurs en réaction aux déclarations de guerre commerciale entre les États-Unis et la Chine ont contribué à une chute continue du prix jusqu'à un nouveau seuil de 1 208 \$/oz, à la fin septembre. Cette situation illustre la réactivité du prix de l'or aux événements macroéconomiques, ce qui est de nature à créer des perturbations provisoires autour d'un prix moyen.

Pourtant, les effets d'une hausse des prix sont directement visibles tant au niveau des producteurs primaires (optimisation des coûts de production, revalorisation en Bourse des sociétés minières et des projets d'exploration) que des producteurs secondaires (les recycleurs d'or sont les premiers à bénéficier d'une hausse des cours, grâce à la revente des chutes de production (ou *scraps*) ou de bijoux de particuliers).

Enfin, l'équilibre global entre l'offre et la demande annuelles est très souvent assuré par une autre variable d'ajustement : celle des productions illégales. L'orpaillage est encore pratiqué à de nombreuses échelles et une grande part d'opacité demeure sur les quantités et les flux d'or issus de ces sources, malgré les nombreuses initiatives visant à une amélioration de la traçabilité des filières d'exploitation.

Quelques particularités du marché de l'or

La première particularité du marché de l'or est la décorrélation qui existe entre l'évolution des prix du métal et le niveau de la production minière annuelle (équilibre offre-demande) par rapport à d'autres métaux. Deux facteurs expliquent ce phénomène.



Source : World Gold Council, 2018

Figure 4 : Évolution de la demande d'or par secteurs (2006-2017).

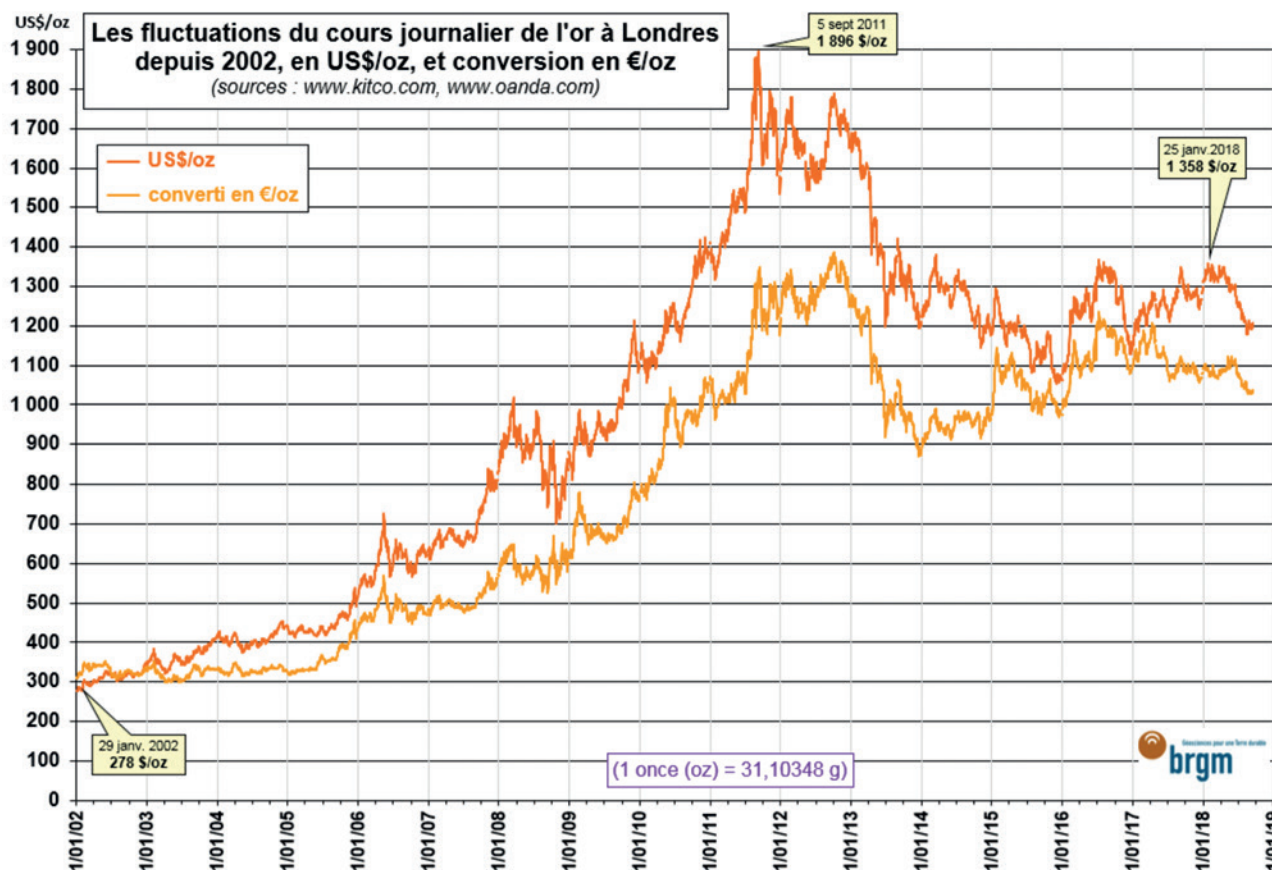


Figure 5.

Les stocks d'or en circulation dans l'économie

La production minière d'or ne représente qu'une partie du stock de métal disponible sur le marché, chaque année. L'ordre de grandeur de cette production est de 3 000 t/an. En comparaison, le stock d'or « en surface » ou *above ground*, c'est-à-dire l'or extrait et transformé historiquement, encore en circulation dans l'économie sous la forme de pièces, bijoux, lingots, réserves des banques centrales etc., est de l'ordre de 180 000 tonnes. On comprend ainsi l'influence relative de la production minière sur la fixation et l'évolution des prix, d'autant plus que ces ressources d'or « secondaire » sont facilement mobilisables.

La valeur de l'or est proche de celle d'une monnaie

L'évolution des prix de l'or dépend également de sa valeur symbolique en tant que monnaie d'échange. Tout d'abord, ce rôle historique est toujours aussi important aujourd'hui, il se matérialise principalement au travers des stocks des banques centrales. Ensuite, l'indexation de la valeur de l'or sur le dollar américain rend celle-ci dépendante des mouvements de la monnaie. Ainsi, tout facteur d'évolution de la valeur du dollar (inflation, taux de change, hausse ou baisse des taux d'intérêt de la FED, intervention de la Banque centrale américaine, etc.) a également un impact sur les cours de l'or, qui évoluent traditionnellement dans une direction opposée à celle de la valeur du dollar. Enfin, s'y ajoute un phénomène récent, l'apparition des ETFs, qui ont fait de l'or un actif financier à part entière. Cette forme de spéculation a eu une influence majeure sur l'évolution des prix et leur volatilité ces dernières années (comme nous l'avons évoqué plus haut).

Tendances de l'évolution de la demande en 2018

Consommation d'or et cycles économiques

Traditionnellement identifié comme une valeur refuge, l'or est souvent associé à des périodes de crise. En effet, sur le marché des actions, l'or n'offre aucun rendement en tant qu'actif. Ainsi, dans un contexte de croissance (taux d'intérêt positifs, perspectives de rendements importants), il est moins attractif que des placements en actions. En revanche, dans un contexte d'incertitude, de volatilité, ou lorsque les banques centrales adoptent des politiques de taux d'intérêt négatifs, cette même caractéristique fait qu'il ne peut générer des pertes, ce qui lui confère ce statut bien connu de valeur refuge. Or, le paradoxe est que la demande en or ne faiblit pas pour autant durant les périodes de forte croissance économique : d'une part, car l'or conserve une importante valeur dans la diversification des investissements. D'autre part, du fait de la hausse du pouvoir d'achat des particuliers, laquelle a un effet positif sur la consommation en or ; une tendance observée en 2017 par le World Gold Council, laquelle a été particulièrement marquée en Inde (+ 14 % pour la demande en bijoux, et + 2 % pour la demande en pièces et lingots, en 2017).

Vers une meilleure transparence du secteur

Longtemps décriée comme étant très opaque, la fixation du prix de l'or à Londres par la London Bullion Market Association (LBMA) avait déjà connu une première évolution vers plus de transparence, avec son placement, à

partir de juillet 2014, sous le contrôle d'un administrateur indépendant, l'ICE Benchmark Administration. L'initiative s'est poursuivie en 2017, avec le début d'une publication mensuelle de l'état des stocks d'or détenus à Londres (Vault Holdings Data). Enfin, le lancement d'une plateforme concernant la totalité des contrats d'échanges d'or de la place londonienne, intitulée LBMA-i, est attendue avant la fin de l'année 2018. Par ailleurs, le London Metal Exchange (LME) a créé le contrat LMEprecious, lequel est censé être plus transparent et efficace.

Preuve d'une volonté d'accroître plus encore cette transparence, le World Gold Council a annoncé en 2018 qu'elle étudie la mise en place d'une cotation généralisée des lingots d'or de 1 kg. Forme peu courante sur les marchés occidentaux, ce type de lingots est pourtant très utilisé sur les marchés asiatiques et est même adossé à des contrats sur le Shanghai Stock Exchange, le Shanghai Future Exchange ou encore le Hong Kong Exchanges and Clearing. Cependant, la traçabilité de l'origine de l'or contenu dans ces produits posait problème à Londres du

fait du manque de standards bien définis. C'est pourquoi le LME ne souhaitait jusque-là ni coter ni utiliser ce type de lingots pour ses clients traditionnels. À travers la création d'un standard international pour les lingots de 1 kg, le World Gold Council souhaite à la fois élargir ce marché et répondre aux demandes croissantes des consommateurs de plus de transparence sur l'origine de l'or, de l'extraction à la réalisation du lingot, sur toutes les places de marché.

Sources bibliographiques

LEFEBVRE G. (2016), « Structure du marché de l'or et situation à mi-2016 », *Bull. Ecomine*, <http://www.mineralinfo.fr/ecomine/structure-marche-lor-situation-mi-2016>)

World Gold Council, <https://www.gold.org/>

GFMS, Thomson Reuters, Gold Survey 2017 & 2018 : <http://financial-risk-solutions.thomsonreuters.info/GFMS>

Mining Intelligence : <https://www.miningintelligence.com/>

Utilisation des nanoparticules d'or en catalyse

Par Delphine SCHAMING

Maître de conférences, Laboratoire ITODYS, Université Paris Diderot

La catalyse est un domaine important de la chimie, puisque 90 % des processus chimiques industriels impliquent un procédé catalytique dans une au moins de leurs étapes. De ce fait, la catalyse est actuellement source de nombreuses études. Les chercheurs développent régulièrement en laboratoire de nouveaux matériaux, aux propriétés multiples. L'attrait pour les nanoparticules ces dernières années, en particulier pour les nanoparticules d'or, a ainsi ouvert de nouvelles perspectives dans le domaine de la catalyse. Du fait de leur très petite taille, elles possèdent une forte réactivité, à l'inverse de l'or, qui, à l'échelle macroscopique, est connu pour son inertie chimique. De plus, elles sont à l'origine d'un phénomène physique appelé résonance plasmon qui leur confère des propriétés photocatalytiques ; on parle dans ce cas de catalyse plasmonique.

Introduction

Les nanoparticules d'or sont de petits assemblages d'atomes d'or (entre quarante et trente millions) de taille typiquement comprise entre 1 et 100 nm. L'or à l'échelle nanométrique a depuis longtemps fasciné les scientifiques, mais aussi les artistes et les artisans. En effet, alors que les nanosciences apparaissent comme un domaine scientifique nouveau ayant connu un grand essor au cours de ces dernières décennies, les premières traces de nanoparticules d'or remontent à l'époque gallo-romaine. L'objet le plus ancien dans lequel ont été mises en évidence des nanoparticules d'or est la coupe en verre opacifié dite de Lycurgus, datant du IV^e siècle de notre ère. La présence de ces nanoparticules d'or confère au verre une coloration bichromatique, c'est-à-dire que sa coloration change selon son éclairage [1, 2, 3]. Si la présence de nanoparticules d'or dans des objets aussi anciens relève du travail d'alchimistes qui ignoraient bien évidemment l'origine de cette coloration surprenante, les nanoparticules d'or sont encore très régulièrement utilisées de nos jours dans l'industrie du luxe, notamment afin de donner une coloration rouge rubis à des objets en verre ou en cristal (flacons de parfums Dior®, cristallerie Baccarat®...) [1, 2, 3]. Si cette coloration rouge est propre à l'or nanométrique, les nanoparticules d'or possèdent bien d'autres propriétés liées à leur très petite taille. En particulier, elles possèdent une grande réactivité chimique, contrairement à l'or macroscopique qui est plutôt chimiquement inerte. Un article publié en 1973 a relaté pour la première fois les propriétés catalytiques de l'or sous forme ultra-divisée vis-à-vis de l'hydrogénation d'alcènes et d'alcynes [4]. Depuis, les travaux en cata-

lyse se sont multipliés, et les nanoparticules d'or peuvent, en particulier, être utilisées de différentes manières en catalyse. En effet, leur réactivité chimique intrinsèque leur confère des propriétés catalytiques qui leur sont propres, dues en particulier à leur très petite taille. Par ailleurs, les nanoparticules d'or ayant des propriétés optiques particulières, leur comportement singulier vis-à-vis de la lumière leur confère également des propriétés intéressantes pour des applications en photocatalyse, c'est-à-dire pour des réactions catalytiques induites par la lumière.

Propriétés catalytiques des nanoparticules d'or dues à leur taille

L'intérêt porté par les chercheurs pour l'activité catalytique des nanoparticules d'or s'est manifesté notamment après les travaux de Haruta *et al.* qui ont montré, à la fin des années 1980, la capacité des nanoparticules d'or à catalyser la réaction d'oxydation aérobie du monoxyde de carbone (CO) en dioxyde de carbone (CO₂), et ce même à température ambiante (entre - 70 °C à + 25 °C) [5]. Cependant, ces propriétés catalytiques ne sont observables que dans des conditions expérimentales bien contrôlées. Les nanoparticules d'or doivent avoir un diamètre inférieur à 5 nm et doivent être déposées sur un substrat d'oxyde réductible, comme le dioxyde de titane (TiO₂) ou l'oxyde de fer (Fe₂O₃). Comparée à celle du platine, catalyseur usuel pour cette réaction, la réactivité est non seulement multipliée par un facteur 10, mais elle se produit également à une température bien moindre. Cela ouvre donc des perspectives intéressantes pour des applications dans les pots catalytiques des voitures, puisque les dégagements de monoxyde de carbone (CO) se produisent en particu-

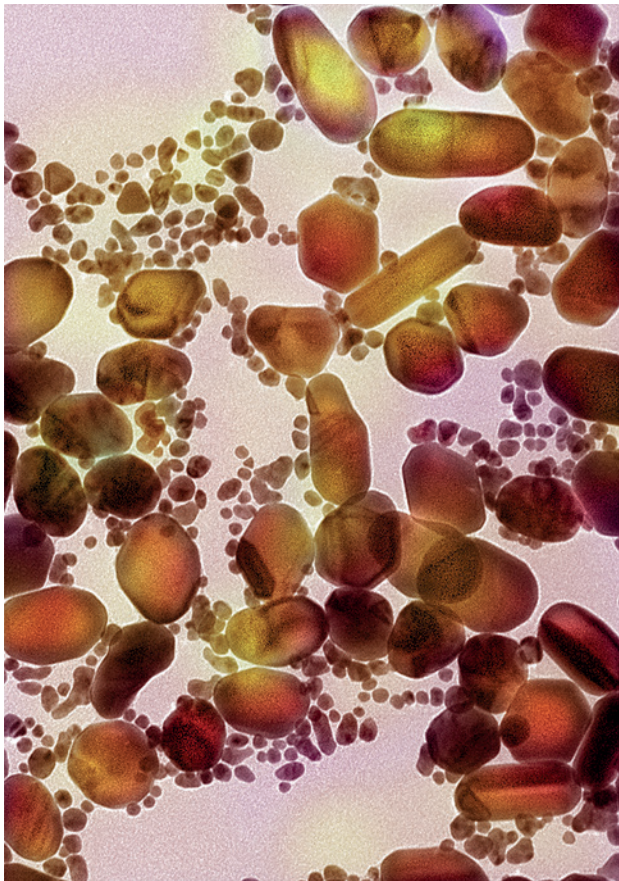


Photo © David McCarthy/SCIENCE PHOTO LIBRARY-BIOS PHOTO

Nanoparticules d'or observées au microscope électronique à balayage.

« L'objet le plus ancien dans lequel ont été mises en évidence des nanoparticules d'or est la coupe en verre opacifié dite de Lycurgus, datant du IV^e siècle de notre ère. La présence de ces nanoparticules d'or confère au verre une coloration bichromatique, c'est-à-dire que sa coloration change selon son éclairage. »

lier au démarrage de la voiture, c'est-à-dire quand le moteur est encore froid. Pour expliquer cette réactivité, les scientifiques ont mis en avant la faculté que le monoxyde de carbone a de s'adsorber sur les sites de basse coordination des nanoparticules d'or. En effet, plus une particule est petite, et plus la proportion des atomes de surface augmente par rapport à celle des atomes de volume, expliquant ainsi une augmentation des sites de basse coordination (coins et arêtes). Or, ces sites de basse coordination présentent (en général) une réactivité plus élevée que les sites sur les plans en raison de la propension des atomes à combler le manque de liaisons. En revanche, le dioxygène aurait, quant à lui, besoin d'un support oxyde réductible pour pouvoir être activé, mais le mécanisme fait encore débat au sein de la communauté scientifique. Il n'en reste pas moins que des masques pour pompiers utilisant cette technologie ont déjà été mis sur le marché par les laboratoires Union Chemical® à Taïwan.

D'autres réactions ont pu être catalysées par des petites nanoparticules d'or, notamment des réactions or-

ganiques : hydrogénation sélective de liaisons insaturées C=C et C=O, addition de nucléophiles tels que des amines sur des oléfines, couplages de Sonogashira (couplage entre un halogénure d'aryle et un alcyne terminal), époxydation aérobie, etc. [6].

La photocatalyse par les nanoparticules d'or, ou catalyse plasmonique

Outre cette réactivité directe, les nanoparticules d'or possèdent également une réactivité particulière lorsqu'elles sont exposées à la lumière, induisant des propriétés photocatalytiques. Ces propriétés particulières de l'or nanométrique résultent d'un phénomène appelé résonance plasmon. Alors que les nanoparticules sont par définition bien plus petites que la demi-longueur d'onde de la lumière visible (400 - 800 nm), tous les électrons libres d'une nanoparticule d'or donnée éclairée par la lumière visible subissent à chaque instant pratiquement le même champ électrique. Ces électrons de conduction de la nanoparticule d'or se mettent alors à osciller en phase avec le champ électrique de l'onde lumineuse. Comme tout système oscillant, cet ensemble d'électrons possède une fréquence de résonance, dite résonance plasmon. Quand la fréquence lumineuse est égale à la fréquence précitée, l'entrée en résonance des électrons oscillants se traduit par une forte absorption de l'onde lumineuse incidente. C'est ce phénomène qui explique en outre la coloration rouge des nanoparticules d'or. Concernant les propriétés catalytiques des nanoparticules d'or, cette résonance plasmon peut induire plusieurs effets.

Tout d'abord, les propriétés catalytiques peuvent s'expliquer par un simple effet thermique. Sous irradiation lumineuse visible, les électrons des nanoparticules d'or sont forcés à osciller et dissipent par effet Joule, *via* leur collision avec les atomes, l'énergie qu'ils reçoivent. La température des nanoparticules augmente alors, conduisant à une augmentation de température du milieu réactionnel bien supérieure à la chaleur qui serait induite par la lumière seule en l'absence de nanoparticules d'or. C'est ce phénomène qui est aussi au cœur du principe thérapeutique de l'hyperthermie, l'augmentation en température des nanoparticules d'or induisant la mort des cellules cancéreuses.

Par ailleurs, un transfert d'énergie peut avoir lieu. En effet, les nanoparticules d'or emmagasinant de l'énergie sous irradiation lumineuse visible, il se crée autour d'elles, localement, un fort champ électromagnétique. Les nanoparticules peuvent alors servir d'« antenne » et relayer cette énergie à des molécules situées à proximité.

Enfin, la réactivité peut s'expliquer par un transfert électronique. Lorsque les nanoparticules d'or sont excitées à la longueur d'onde du plasmon, les électrons, oscillant à la fréquence de la résonance plasmon, deviennent très réactifs. Appelés couramment « électrons chauds » du plasmon, ils ont des propriétés réductrices permettant aux nanoparticules d'or d'agir comme des donneurs d'électrons.

Une grande partie des réactions pour lesquelles les nanoparticules d'or ont montré des propriétés de catalyse

plasmonique concernent la synthèse organique. Nous pouvons citer par exemple l'oxydation d'alcools en aldéhydes ou en cétones. Ainsi, l'oxydation du 1-phényléthanol en présence d'eau oxygénée et de nanoparticules d'or de diamètre 15 nm conduit à la formation d'acétophénone avec un taux de conversion de 95 % après 20 minutes d'irradiation LED à 530 nm [7]. En l'absence de nanoparticules d'or, mais toujours sous irradiation LED, le taux de conversion chute à 25 %.

Des nanoparticules de type cœur-coquille peuvent également être utilisées comme catalyseurs pour ce type de réaction. Citons à titre d'exemple des nanoparticules de type Au@Pd, le palladium étant utilisé pour ses propriétés catalytiques intrinsèques et l'or permettant un échauffement local sous irradiation lumineuse améliorant la sélectivité par comparaison à un chauffage conventionnel du mélange réactionnel [8]. Ce type de nanoparticules cœur-coquille a par exemple fait ses preuves dans le cadre de couplages de Suzuki, des réactions de couplage entre un dérivé halogéné et un acide boronique.

L'utilisation de nanoparticules en solution comme indiqué dans les exemples précédents présente néanmoins un certain nombre d'inconvénients. En effet, les nanoparticules ont tendance à s'agglomérer et à coalescer, ce qui diminue leurs propriétés catalytiques. Par ailleurs, elles sont difficiles à récupérer dans le milieu réactionnel. Pour remédier à cela, il est possible de déposer les nanoparticules d'or sur des substrats solides inertes chimiquement, par exemple de l'hydrotalcite ($Mg_6Al_2CO_3(OH)_{16} \cdot 4H_2O$), de l'alumine (Al_2O_3), de la silice (SiO_2), des zéolites, des oxydes de zirconium (ZrO_2) ou de cerium (CeO_2), etc. [9, 10].

Si les réactions d'oxydation d'alcools sont généralement les plus étudiées dans le cas des réactions catalysées par les nanoparticules d'or, d'autres réactions ont pu être effectuées comme la réduction de composés nitro, des réactions d'amidation, des décompositions de colorants azoïques, etc. [11, 12, 13].

Hybrides nanoparticules d'or/semi-conducteurs pour des applications photocatalytiques

Des études ont également montré l'intérêt de coupler des nanoparticules d'or avec des semi-conducteurs possédant intrinsèquement des propriétés photocatalytiques, comme le dioxyde de titane (TiO_2), l'oxyde de zinc (ZnO), le trioxyde de tungstène (WO_3), etc. En effet, il est connu que lorsque des semi-conducteurs de ce type sont irradiés par une lumière d'énergie supérieure à leur intervalle de bande ou bande interdite, des électrons peuvent passer de la bande de valence vers la bande de conduction. Ainsi, l'adsorption de photons entraîne la formation d'électrons dans la bande de conduction et de trous dans la bande de valence (paire électrons-trous). Ces porteurs de charges vont ensuite migrer jusqu'à la surface du semi-conducteur et initier des réactions de transferts électroniques avec les composés adsorbés en surface [14].

L'incorporation de nanoparticules d'or à ce type de semi-conducteurs a montré un effet bénéfique sur leurs

propriétés photocatalytiques. En effet, la plupart des semi-conducteurs ont des intervalles de bande nécessitant une excitation avec des longueurs d'onde dans l'UV, ce qui limite les applications industrielles pour lesquelles une illumination solaire, essentiellement visible, est préférable. Ainsi, les nanoparticules d'or incorporées aux semi-conducteurs peuvent jouer un rôle de photosensibilisateur. En effet, après excitation des nanoparticules d'or à la longueur d'onde du plasmon (située dans le visible), les « électrons chauds » du plasmon peuvent passer la barrière de Schottky et être transférés vers la bande de conduction du semi-conducteur.

Par ailleurs, le fort champ électromagnétique créé localement autour des nanoparticules d'or après excitation agit comme une source lumineuse supplémentaire entraînant une augmentation de l'absorption du semi-conducteur ainsi qu'un accroissement de la concentration en porteurs de charges au sein du semi-conducteur. C'est l'effet PIRET (*Plasmon-Induced Resonance Energy Transfer*).

Deux principaux types d'hybrides peuvent être rencontrés : il s'agit soit de nanoparticules d'or adsorbées à la surface du semi-conducteur, soit de structures du type cœur-coquille (nanoparticules d'or entourées d'une couche de semi-conducteur). De nombreuses réactions ont pu être catalysées en recourant à ce type d'hybrides : oxydation d'alcools et d'alcènes, dégradation de colorants, etc. Des études plus approfondies ont montré l'importance du contrôle du taux de dopage du semi-conducteur en nanoparticules d'or et de la taille des nanoparticules d'or.

Conclusion

Les nanoparticules d'or présentent donc une activité catalytique intéressante au regard de nombreuses réactions. Cette activité catalytique est due non seulement à leur très petite taille induisant une réactivité accrue, mais aussi, dans certains cas, à leurs propriétés plasmoniques. Si beaucoup de travaux restent encore au stade d'études fondamentales en laboratoire, nous pouvons néanmoins nous attendre, au cours des prochaines années, à une forte augmentation du nombre de réactions catalysées par des nanoparticules d'or en milieu industriel.

Bibliographie

- [1] PLUCHERY O. & CARRIÈRE M., « Nanoparticules d'or », *Techniques de l'Ingénieur*, NM 900.
- [2] SCHAMING D., PLUCHERY O. & REMITA H. (2014), « La ruée vers le nano-or », *Pour la science*, 444, pp. 32-38.
- [3] SCHAMING D. & REMITA H. (2015), "Nanotechnology: from the ancient time to nowadays", *Found. Chem* 17, pp. 187-205.
- [4] BOND G., SERMON P., WEBB G., BUCHANAN D. & WELLES P. (1973), "Hydrogenation over supported gold catalysts", *Chem. Commun* 13, pp. 444-445.
- [5] MASATAKE H., TETSUHIKO K., HIROSHI S. & NOBUMASA Y. (1987), "Novel gold catalysts for the oxidation of carbon monoxide at a temperature far below 0°C", *Chem. Lett.* 16, pp. 405-408.

- [6] CORMA A. & GARCIA H. (2008), "Supported gold nanoparticles as catalysts for organic reactions", *Chem. Soc. Rev.* 37, pp. 2096-2126.
- [7] HALLETT-TAPLEY G., SILVERO J., GONZÁLEZ-BÉJAR M., GRENIER M., NETTO-FERREIRA J. C. & SCAIANO J. (2011), "Plasmon-mediated catalytic oxidation of sec-phenethyl and benzyl alcohols", *J. Phys. Chem. C.* 115, pp. 10784-10790.
- [8] HUANG X., LI Y., CHEN Y., ZHOU H., DUAN X. & HUANG Y. (2013), "Plasmonic and catalytic AuPd nanowheels for the efficient conversion of light into chemical energy", *Angew. Chem. Int. Ed.* 52, pp. 6063-6067.
- [9] KE X., ZHANG X., ZHAO J., SARINA S., BARRY J. & ZHU H. (2013), "Selective reductions using visible light photocatalysts of supported gold nanoparticles", *Green Chem.* 15, pp. 236-244.
- [10] HALLET-TAPLEY G., SILVERO J., BUENO-ALEJO C., GONZÁLEZ-BÉJAR M., MCTIERNAN Ch., GRENIER M., NETTO-FERREIRA J. C. & SCAIANO J. (2013), "Supported gold nanoparticles as efficient catalysts in the solvent-less plasmon mediated oxidation of sec-phenethyl and benzyl alcohol", *J. Phys. Chem. C.* 117, pp. 12279-12288.
- [11] ZHU H., KE X., YANG X., SARINA S. & LIU H. (2010), "Reduction of nitroaromatic compounds on supported gold nanoparticles by visible and ultraviolet light", *Angew. Chem. Int. Ed.* 49, pp. 9657-9661.
- [12] PINEDA A., GOMEZ L., BALU A., SEBASTIAN V., OJEDA M., ARRUEBO M., ROMERO A., SANTAMARIA J. & LUQUE R. (2013), "Laser-driven heterogeneous catalysis: efficient amide formation catalysed by Au/SiO₂ systems", *Green Chem.* 15, pp. 2043-2049.
- [13] GOMEZ L., SEBASTIAN V., ARRUEBO M., SANTAMARIA J. & CRONIN S. (2014), "Plasmon-enhanced photocatalytic water purification", *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 16, pp. 15111-15116.
- [14] SCHAMING D., COLBEAU-JUSTIN C. & REMITA H., « Photocatalyse. Des matériaux nanostructurés aux réacteurs photocatalytiques », *Techniques de l'Ingénieur* NM 3600.

L'or dans l'histoire et dans la civilisation, histoire et création artistique

Par Myriame MOREL-DELEDALLE
et Jean-Roch BOUILLER

Commissaires généraux de l'exposition Or, tenue au MUCEM

On peut toujours s'interroger sur le bien-fondé d'un rapprochement entre archéologie et art contemporain, c'est néanmoins le parti pris de l'exposition Or, qui a été organisée au Mucem, à Marseille, en 2018. Cette exposition a permis de distinguer la valeur fiduciaire du métal précieux de ses propriétés éminemment plastiques et de ses multiples dimensions symboliques. L'histoire de ce matériau montre qu'il a joué un rôle important dans presque toutes les sociétés, à toutes les époques et sous toutes les latitudes. En ce sens, il constitue un sujet de civilisation, qui est, en outre, connecté à de nombreuses questions de société très actuelles. L'or est aussi un matériau privilégié de la création artisanale et artistique, qui connaît un regain d'intérêt sur la scène contemporaine. La plupart des artistes contemporains proposent une approche politique ou poétique de l'or, qu'ils soient critiques à l'égard de sa valeur financière, qui le rend aliénant, qu'ils en jouent ou qu'ils proposent une autre approche de sa matérialité pour en révéler sa métaphysique.

Dans un récent article sur l'art contemporain et les musées, l'écrivain Stéphane Audeguy critique la mode actuelle consistant à confronter gratuitement des objets archéologiques à des œuvres contemporaines⁽¹⁾. On peut en effet légitimement s'interroger sur la pertinence de tels rapprochements, sur les anachronismes éventuels qui peuvent en découler et sur l'instrumentalisation d'objets patrimoniaux pris ainsi en otage. Nul besoin de préciser que ces questions hantent tout professionnel de musée. C'est pourtant avec ce parti pris de confrontation, d'appréhension d'un horizon chronologique très large et d'une approche pluridisciplinaire – de l'archéologie à l'art contemporain – que les quatre commissaires de l'exposition Or, qui s'est tenue en 2018 au Mucem, à Marseille, ont cherché à aborder ce sujet⁽²⁾. Mais l'on peut tout d'abord se demander si l'or constitue d'ailleurs un sujet en soi. Comment passe-t-on d'un spectre de questions très vaste que pose le matériau le plus précieux du monde à ce qui fait la spécificité et l'identité de ce métal incommensurable ? Que nous enseigne-t-il de l'homme dans sa permanence et de l'histoire des civilisations ? Pourquoi les artistes contemporains s'en nourrissent-ils encore abondamment ? Quelle est cette force symbolique qu'il revêt pour être à ce point synonyme d'éternité, de pouvoir, de puissance et expliquer qu'on le retrouve dans de multiples domaines de la vie contemporaine : du cirque à la télévision, du décor à la mode, du packaging à la publicité ?

Le parti pris de l'exposition du Mucem a précisément été de ne pas aborder l'or sous l'angle d'une simple accumulation de trésors qui ne retiendrait de ce matériau précieux que son éclat mort : l'or des Scythes, l'or des Égyptiens, l'or des Incas... Elle s'est voulue au contraire une exposition de civilisation résolument contemporaine ; si l'or n'est pas un sujet en soi, il se trouve en revanche directement connecté à plusieurs questions de société dont l'actualité est cruciale : inégale répartition des matières premières à la surface de la planète ; enjeux environnementaux et humains liés à leur exploitation ; augmentation du fossé entre les plus riches et les plus pauvres ; rôle dans ce processus de la spéculation en matière d'art contemporain ; développement de la société du spectacle, de la mode et du paraître aboutissant à différents phénomènes, dont celui du bling-bling...

En partant de ces questions, l'exposition Or au Mucem s'est développée autour de trois thématiques sociétales liées à sa dimension fiduciaire, à ses propriétés techniques et à ses aspects symboliques. Pépites et parures, statues et reliques, objets de culte, d'apparat et œuvres

(1) AUDEGUY S. (2018), « L'avenir des musées », La Croix, 25 mai.
(2) BOUILLER J.-R., JOCKEY Ph., MOREL-DELEDALLE M. & TAVÉ M. (dir.) (2018), Or, Marseille, Mucem, Paris, Hazan. Exposition du 25 avril au 10 septembre 2018.

d'art contemporain ont ainsi alimenté les différentes thématiques abordées dans le cadre de l'exposition : la fascination pour l'or et sa thésaurisation ; la quête effrénée de ce matériau et ses effets sur les hommes et l'environnement ; les gestes et savoir-faire liés à sa transformation ; ses dimensions alchimiques et magiques ; ses liens avec le sacré et le pouvoir ; et, enfin, ses aspects festifs, rituels et démonstratifs. Dans le présent article, nous nous intéresserons plus particulièrement à la place de l'or dans l'histoire et dans la création artistique contemporaine.

L'or dans l'histoire

Si l'on revient à la dimension historique, l'or a été exploité dans le « vieux monde » dès l'époque chalcolithique, d'après l'état actuel de la recherche archéologique. Le berceau connu des mines d'or se situe autour de la mer Noire. Datant du V^e millénaire avant J.-C., les productions parmi les plus anciennes ont été découvertes dans les nécropoles de Varna, en Bulgarie.

À partir du XIX^e siècle, les somptueuses découvertes faites dans les tumulus et cités antiques de Bulgarie, de Crimée, de Géorgie ou de Roumanie attirèrent l'attention sur les trésors d'or produits par les civilisations de la mer Noire en contact avec le monde grec. L'abondance des trésors funéraires de grande qualité conduisit les collectionneurs européens à acquérir ces bijoux d'orfèvrerie et parfois même jusqu'à en réaliser des faux si parfaits que les plus érudits s'y trompèrent : en témoignent les exceptionnelles productions de l'orfèvre Israël Rouchomowsky d'Odessa qui réalisa la tiare de Saïtapharnès, roi scythe qui vécut au III^e siècle avant J.-C., laquelle fut achetée par le Louvre, en 1896.

La littérature antique atteste que le berceau de l'or est le pays de la Colchide, l'actuelle Géorgie. La mythologie grecque, elle, enseigne aux hommes les grands attendus de la morale humaine, laquelle est calquée sur celle des dieux ; par là même, elle édicte de grandes leçons. En Colchide, royaume d'Aïétés, est conservée la Toison d'or, défendue par les dragons de Zeus. Pour recouvrer son trône, Jason doit affronter Zeus et ses dragons : il les vaincra grâce à la trahison de Médée, fille du roi qui bien évidemment était amoureuse de Jason. L'attrait pour la Toison d'or doit donc passer par la bravoure certes, mais aussi par la trahison. Ainsi parle la mythologie, avertissant les hommes des travers de cette quête aliénante de l'or.

La quête de Jason (la Toison d'or) nous renseigne également sur les techniques de collecte de cet or alluvial qui court à la surface des rivières traversant les filons d'or : la fourrure bouclée d'un ovin a retenu les paillettes d'or, ce sera plus tard le premier mode de récolte adopté par les orpailleurs. C'est aussi ce que montre l'exceptionnel cratère grec qui est conservé au Louvre.

Outre son berceau historique, le minerai d'or se trouve à l'état naturel partout à la surface du globe.

La carte historique de la répartition des mines d'or dans le monde met en évidence les exploitations les plus anciennes dans le « vieux monde » : autour de la Méditerranée



« Tiare de Saïtapharnès », Israël Rouchomowsky, or repoussé, ciselé et ajouré (D. 18 cm ; H. 17,5 cm), fin du XIX^e siècle, Musée du Louvre, département des Antiquités grecques, étrusques et romaines.

Photo © RMN-Grand Palais (Musée du Louvre) / Hervé Lewandowski

et en Europe, en France (dans le Massif central), en Espagne, autour de la mer Noire, en Bulgarie, en Géorgie, en Roumanie...

À l'époque antique, en Europe et autour de la Méditerranée, il a été exploité à la mesure des moyens techniques de l'époque. Une des plus importantes mines connues est celle de Las Médulas, en Espagne, actuellement classée au Patrimoine mondial de l'UNESCO. L'extraction se faisait à ciel ouvert, à partir d'un système sophistiqué de canaux et de vannes soutenu par 60 000 ouvriers. Pline l'Ancien, qui fut administrateur des mines, en a décrit le procédé – qui s'est par ailleurs révélé être l'un des premiers désastres environnementaux⁽³⁾. Les géologues ont calculé que cette montagne a fourni, sur les deux cent cinquante ans de son exploitation, aux I^{er} et II^e siècles après J.-C., la quantité dérisoire de 4,7 tonnes d'or.

À l'époque médiévale, c'est l'Afrique, avec l'Empire du Mali, qui développa une exploitation importante et mit en place des routes caravanières transversales, d'Est en Ouest et du Sud vers le Nord, permettant l'essor des grands marchés à destination de l'Europe. Une abondante littérature faisait état des richesses somptuaires de Mansa Musa (empereur du Mali de 1312 à 1337), au point d'avoir fait effondrer le cours de l'or en raison des somptueux cadeaux qu'il offrit lors d'un voyage à La Mecque... L'Afrique centrale, avec le Sud de l'Égypte et le Soudan, pratiqua des extractions aux époques antique et médiévale.

(3) PLINIE (1949), *Histoire naturelle, Métaux, livres XXXIV-XXXV*, Paris, Éditions des Belles Lettres.

À l'époque moderne, dès la découverte du Nouveau Monde (1492), les Européens s'emparèrent des trésors d'or façonnés par les Incas, exploitèrent les mines au profit exclusif de l'empire des Habsbourg, réduisant les populations autochtones en esclavage jusqu'à leur massacre total et donc leur disparition.

Au XIX^e siècle, le continent américain connut une nouvelle ruée vers l'or, en Californie, suite à la découverte, en 1848, d'une pépite d'or sur les terres d'un émigré suisse, Johan Suter. Remarquablement narrée par Blaise Cendrars, cette fresque de la folie est à peine romancée⁽⁴⁾.

La fièvre de l'or s'empara de dizaines de milliers d'individus bien décidés à trouver fortune, ce qui allait les conduire à s'approprier de larges territoires, engendrant de nouveaux désastres humains (notamment le génocide des Amérindiens) et environnementaux. Dès 1851, ces mêmes hordes d'hommes solitaires traversaient le Pacifique, découvrant la première pépite d'or en Australie, en 1851, puis en Nouvelle-Zélande, en 1861.

De nos jours, un simple coup d'œil sur une carte du monde nous convainc que tous les continents sont concernés par l'exploitation aurifère, dont la production mondiale était de 3 000 tonnes en 2016. Les plus grosses extractions sont situées en Russie, en Australie, au Pérou, aux États-Unis, mais loin derrière la Chine qui est le premier producteur mondial (450 tonnes en 2016).

En France, si des reprises d'exploitation sont intervenues dans le Massif central ou en Guyane, c'est avec une conscience accrue des questions de santé publique. Le cas particulier de la Guyane, où l'orpaillage clandestin n'a jamais cessé, a fait l'objet d'études qui ont démontré les dégâts dramatiques de ces exploitations polluantes sur les populations et l'environnement⁽⁵⁾.

La création artistique

Qu'il provienne de pépites, de filons ou de paillettes, l'or a été rapidement façonné et métamorphosé. Parmi toutes ses qualités, ce métal est sans doute le matériau le plus pérenne, le plus plastique, le plus ductile et le plus facilement transformable. Fondant à température assez basse (1 064 degrés), il a toujours été abondamment utilisé à diverses fins artisanales et artistiques, à différentes périodes historiques. Ses propriétés techniques particulières y sont évidemment pour beaucoup, en sus de la valeur symbolique qui lui est par ailleurs associée.

Parmi ces nombreux usages, celui de la fabrication de tesselles d'or qui requiert des savoir-faire complexes constitue un bon exemple pour rendre compte de la faculté de l'or à se laisser associer à d'autres matériaux. Cette technique, caractéristique des églises paléochrétiennes tardives d'Italie depuis le V^e siècle après J.-C., est également mise en œuvre dans les mosquées, comme celle des Omeyyades de Damas (VIII^e siècle après J.-C.), dont les parois représentent les jardins du paradis. L'usage de ces tesselles fait appel à des savoir-faire antiques reposant sur la maîtrise de l'association du verre coloré avec des feuilles d'or. Des analyses fines ont montré que ces

dernières étaient obtenues à partir de la fonte de monnaies d'or⁽⁶⁾. Aujourd'hui, en Europe, seuls les ateliers vénitiens du dernier batteur d'or à la main, Berta Battiloro, et des verriers Orsoni, qui ont été chargés de la restauration des mosaïques de la Basilique Saint-Marc de Venise, ont conservé cette tradition et pérennisé ce savoir-faire.

De nombreux autres métiers spécialisés, aujourd'hui en voie de raréfaction, sont directement rattachés à la transformation de l'or : batteur d'or, fabricant de couleurs, orfèvre, bijoutier, joaillier, doreur sur bois, sur verre et sur de multiples autres supports, brodeur d'or, céramiste, verrier, mosaïste, fabricant de perles, de fleurs artificielles, relieur, imprimeur... Ils ont chacun développé des savoir-faire spécifiques et des outils de précision qui pour beaucoup sont représentés dans les collections du Mucem. L'industrialisation progressive des procédés de fabrication et d'assemblage a en effet rendu désuets nombre d'ateliers modestes, dont les fonds sont entrés au musée au cours de la seconde moitié du XX^e siècle, en tant que témoignages de cette diversité de savoir-faire.

Mais l'on aurait tort de considérer l'âge d'or des techniques artisanales liées à l'or comme révolu. En effet, l'or rencontre aujourd'hui un regain d'intérêt dans les expressions artistiques contemporaines. Il devient le support privilégié d'une nouvelle sensibilité, nous invitant à repenser nos approches du sacré, du politique, de l'esthétique et du social.

La plupart des artistes contemporains proposent une approche politique ou poétique de ce matériau, qu'ils soient critiques à l'égard de la stricte valeur fiduciaire de l'or, qui le rend aliénant, qu'ils en jouent ou qu'ils proposent une autre approche de sa matérialité⁽⁷⁾. La plus grande difficulté est souvent pour eux (mais aussi pour les commissaires d'exposition) de rendre compte de l'humain qui se cache derrière les couches superficielles d'or.

Afin d'aller à la rencontre de cette dimension humaine, le couple d'artistes gethan&myles a, par exemple, choisi de travailler pendant un an (2017-2018) sur des bijoux vendus aux enchères par le Crédit municipal de Marseille, un établissement public de prêts sur gage. Après avoir acquis certains de ces bijoux, ils sont partis à la recherche de leurs anciens propriétaires pour connaître leur histoire. Ce qui fait œuvre pour eux, c'est moins la matérialité ou la valeur du bijou (qui sera d'ailleurs restitué à son ancien propriétaire) que la rencontre avec des individualités, des parcours de vie où le lien avec l'or dessine de petits jalons heureux ou malheureux et des histoires profondément humaines de cet or perdu et retrouvé.

(4) CENDRARS B. (1925), *L'Or*, Paris, Éditions Grasset.

(5) TAUBIRA-DELANNON Ch. (2000), Rapport à Monsieur le Premier ministre « L'or en Guyane, éclats et artifices », Paris, *La Documentation Française*.

(6) NERI E., « L'or des mosaïques », dans BOUILLER J.-R., JOCKEY Ph., MOREL-DELEDALLE M. & TAVÉ M. (dir.), op. cit., p. 221.

(7) CHARBONNEAUX A.-M. (2010), *L'or dans l'art contemporain*, Paris, Flammarion.



Photo © Hassan Darsi

Or d'Afrique 2 - Digue du Large, Hassan Darsi, tirage numérique couleur sur Dibond, 120 x 216 cm (30 photographies 24 x 36 cm chacune).

Les aspects humains liés à l'or peuvent se révéler particulièrement dramatiques avec, par exemple, les portraits de compagnons d'Emmaüs, par Harald Fernagu, mis en scène, visages défaits, en chercheurs d'or ; les photographies des travailleurs dans les mines brésiliennes de Sebastião Salgado ; l'évocation par Hassan Darsi de l'inégalité des échanges autour de l'or entre l'Afrique et l'Europe ou encore les conséquences sur la santé des produits toxiques utilisés pour l'exploitation de l'or, soulignées par Martine Aballéa dans son *Service à café pour chercheurs d'or*. Avec Sylvie Fleury ou Thomas Hirschhorn, c'est plutôt la dimension aliénante de l'or qui est mise en avant à travers des objets iconiques de la société de consommation (Caddie, pop-corn, boîte de Slim-Fast dorés par Sylvie Fleury) ou encore plus explicitement à travers des chaînes (Thomas Hirschhorn) ou des menottes (Sylvie Fleury) également dorées, de manière ironique.

Dans une tout autre voie, d'autres artistes explorent le métal précieux pour ses propriétés spirituelles et sa propension à dématérialiser l'œuvre d'art. Pour Yves Klein, il est particulièrement manifeste qu'avant d'être un trésor, l'or est avant tout fluidité, symbole et poésie. Ces trois dimensions sont présentes dans ses œuvres, dans lesquelles il joue des ambiguïtés de l'or, riche et fragile, éternel et éphémère, et dans ses performances, notamment lorsqu'il jetait des feuilles d'or dans la Seine.

Cette exploration de l'immatérialité de l'or ouvre sur sa dimension presque magique ou shamanique, révélatrice

des forces telluriques ou des grandes lois du cosmos, qui demeurent difficilement perceptibles par tout un chacun de manière parfaitement rationnelle. L'alchimie de l'or joue ainsi un rôle primordial dans l'œuvre de James Lee Byars. Souvent vêtu d'un costume doré, il apparaissait comme le grand prêtre d'un au-delà inaccessible. Sa recherche de la forme parfaite, souvent associée à l'or, renvoie à l'éternel et aux structures fondamentales de l'univers. Louise Bourgeois ou Johan Creten jouent également sur cette métaphysique de l'or, sur la vision mi-consciente, mi-inconsciente, mi-réaliste, mi-onirique qu'il véhicule.

Ces quelques exemples parmi de nombreux autres permettent de mieux comprendre les enjeux des pratiques artistiques d'aujourd'hui liées à l'or. L'œuvre d'Évariste Richer, à elle seule, les résume assez bien : elle part des structures de l'Univers et des propriétés physiques des matériaux fondamentaux. En photographiant une couverture de survie *recto verso* à l'échelle 1/1, il nous confronte à ces matières précieuses, l'or et l'argent, qui sont traditionnellement associées à l'apparat, mais tout en nous interrogeant sur leur trivialité, leur authenticité ou, au contraire, leur fausseté. D'où vient notre éblouissement ? Des qualités propres à ces métaux rares ou d'une superficielle séduction ? En renvoyant à la fragilité de nos corps en détresse, c'est également à l'humain que cette couverture de survie fait allusion.

Mesurer l'or et assurer sa traçabilité depuis son origine ; métrologie des poudres et de l'or fondu

Avant-propos de l'article de Laurent Bailly, Anne-Marie Desauty, Philippe Lach, Wolfram Kloppmann et Isabelle Duhamel-Achin

Par Michèle ROUSSEAU

Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM)

La notion de traçabilité, comme celle de transparence, est aujourd'hui totalement entrée dans le discours commun. Elle s'est développée avant tout dans le champ agroalimentaire avec la maladie de la vache folle ou la grippe aviaire, et des règles internationales ont été graduellement mises en place pour suivre le taux d'hormones dans le veau ou la présence d'OGM.

Dans le domaine minéral, la première ressource à être concernée a été, dès l'an 2000, le diamant avec la mise en place du Processus de Kimberley qui est un forum international de négociation tripartite réunissant les représentants des États, de l'industrie du diamant et de la société civile. Les discussions au sein de cette plateforme ont abouti au lancement d'un régime international de certification des diamants, en janvier 2003. L'objectif du Processus de Kimberley est de prévenir l'entrée des « diamants de conflits » sur le marché international.

Une initiative intéressant l'ensemble des industries extractives est née en Europe en 2002 : l'Initiative pour la transparence dans les industries extractives (ITIE). Cette organisation internationale, dont le siège est à Oslo, est chargée de tenir à jour et de superviser la mise en œuvre d'une norme qui repose sur une adhésion volontaire des

exploitations légales. L'objectif de cette norme est d'évaluer dans quelle mesure les revenus tirés de l'exploitation des ressources pétrolières, gazières et minérales d'un pays sont gérés de manière transparente. Elle est aujourd'hui soutenue par la Banque mondiale.

La capacité de production, que ce soit de diamants ou de métaux, est ainsi évaluée et tracée pour en connaître l'origine et les flux financiers générés.

L'article qui suit se focalise sur la traçabilité de l'or au travers d'un projet financé par le WWF. L'objectif est d'obtenir une carte d'identité de l'or pour en connaître l'origine légale ou, au contraire, illégale.

Cette approche est généralisée à d'autres métaux qui peuvent traverser les frontières, c'est le cas du coltan ou du cobalt en Afrique centrale, mais aussi de l'étain ou du tungstène.

Par ailleurs, la dimension RSE connaît un développement rapide dans le secteur minier à travers la sensibilisation des populations, notamment sur l'impact environnemental de l'extraction, voire de l'exploitation qui est parfois réalisée dans des conditions inacceptables, comme dans le cas des mines recourant au travail des enfants.

Mesurer l'or et assurer sa traçabilité depuis son origine ; métrologie des poudres et de l'or fondu

Par Laurent BAILLY
 Anne-Marie DESAULTY
 Philippe LACH
 Wolfram KLOPPMANN
 et Isabelle DUHAMEL-ACHIN
 Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM)

Depuis l'Antiquité, les hommes ont toujours cherché à développer des méthodes nouvelles pour déterminer la pureté de l'or. Aujourd'hui, c'est l'analyse précise de ses impuretés qui représente un véritable enjeu scientifique. Afin de déterminer leurs signatures chimiques, plusieurs techniques analytiques existent. Ces techniques, destructives ou non destructives, permettent de procéder soit à une analyse globale, soit à une analyse *in situ* pour caractériser l'hétérogénéité de l'échantillon. En archéométrie, la signature des impuretés est utilisée pour retracer les voies de circulation des objets anciens. En exploration minière, cette signature sert à localiser les gisements primaires. Dans le cadre de la lutte contre l'exploitation et le trafic illégaux de l'or, la mise en place d'un système de traçabilité des chaînes d'approvisionnement est devenue une obligation pour les sociétés importatrices. La signature chimique des impuretés contenues dans l'or, combinée aux signatures isotopique et minéralogique, est une voie prometteuse pour assurer la traçabilité de celui-ci.

Introduction

L'or est désigné en chimie par le symbole Au, qui est formé des deux premières lettres du mot latin *aurum*, signifiant scintiller ou briller. Largement dispersé à l'état naturel, facile à repérer et à extraire lorsqu'il se présente sous forme alluvionnaire, très malléable et aisé à travailler à froid par simple martelage, l'or est utilisé depuis la Haute Antiquité, comme l'atteste sa découverte sous la forme de bijoux et de décorations tombales dans des sépultures datant de l'époque néolithique (MICHEL, 1985).

L'or est rencontré dans une grande variété de gisements, dans lesquels il se présente principalement sous la forme d'un alliage or-argent métallique (électrum ou or vert). D'autres minéraux aurifères peuvent également être présents (trente minéraux sont approuvés par l'Association internationale de minéralogie) et des substitutions dans le réseau cristallin de certains minéraux comme les sulfures sont également possibles. Initialement associés à des minéraux de gangue ou à des minéraux sulfurés valorisables dans les gisements primaires, ces grains d'or peuvent se retrouver, après altération des roches hôtes, sous forme

de grains libres dans des cours d'eau où ils s'accumulent dans des gisements dits alluvionnaires ou placers en raison de leur densité élevée (19.3) et de leur inaltérabilité (voir la Figure 1 de la page suivante). Du point de vue de la métallurgie extractive, les traitements subis par les minerais d'or vont dépendre de leur forme, de leur teneur et de leurs associations avec d'autres éléments, autant de caractéristiques qui rendent plus ou moins difficile l'extraction de ce minerai.

Depuis l'Antiquité, les hommes ont toujours cherché à développer des méthodes nouvelles pour déterminer la pureté de l'or. Aujourd'hui, c'est l'analyse précise de ses impuretés qui représente un véritable enjeu, notamment pour assurer la traçabilité dudit métal.

L'analyse de la pureté de l'or

La pureté (ou titre) de l'or est généralement exprimée en carats (à ne pas confondre avec le carat, la mesure de masse utilisée par les joailliers pour caractériser les pierres précieuses et équivalant à 0,2 g) ou en millièmes (mesure officielle française) (voir le Tableau 1 de la page suivante).

Photo © BRGM - Urbain de Cayeux



Figure 1 : Un échantillon d'or de 6 cm (Placer County, Californie, États-Unis).

Le carat des bijoutiers équivaut à 1/24 du poids total de l'alliage considéré. Un bijou en or de 24 carats est considéré comme étant en or pur. L'or 18 carats, appelé officiellement 750 millièmes, est constitué de 18 parts massiques d'or pur et de 6 parts d'un autre métal.

Le terme « or pur » est relativement peu explicite ; en effet, il est également attribué aux lingots, dont la pureté est au minimum de 99,5 %. Les techniques actuelles permettent de produire de l'or présentant une pureté de 99,999 %, aussi appelé or 5-9.

Afin de tester leur pureté, les minerais et objets en or sont « essayés », c'est-à-dire que leur teneur en or est déterminée en recourant à différentes méthodes.

L'essai d'or à la pierre de touche, un « procédé merveilleux et infaillible », selon Pline l'Ancien

L'utilisation de la pierre de touche, présente dans l'outillage de l'orfèvre depuis l'Antiquité (CAUQUET, 1991) ⁽¹⁾, reste la méthode la plus courante en bijouterie pour déterminer la pureté de l'or. Pline l'Ancien, dans sa définition de la pierre, en fait aussi mention dans un contexte minier ⁽²⁾.

Cette méthode consiste à marquer une pierre avec l'échantillon et à tester la trace d'or laissée sur la pierre avec différents acides de titrage. Si l'on applique un acide 14 carats

sur un morceau d'or de 14 carats, la trace ne change pas de couleur. En revanche, si l'on applique un acide 18 carats sur un morceau d'or 14 carats, la trace va rougir. Cette technique a l'avantage d'être très simple, mais sa précision est discutée dès le XVII^e siècle (BOIZARD, 1692).

L'essai d'or par coupellation

Cette méthode basée sur la purification de l'or est mentionnée dès l'Antiquité dans des textes grecs, puis dans des textes arabes. On en trouve également mention dans les plus anciens traités d'alchimie de l'Occident médiéval (TÉREYGEOL et THOMAS, 2003). L'utilisation de ce procédé comme méthode d'essai est décrite avec précision, en 1343, par une ordonnance de Philippe de Valois adressée aux essayeurs (HOEFER, 1842-1843). Cette technique consiste à mélanger le métal « à essayer » au plomb pour faire baisser sa température de fusion, puis à le chauffer dans une coupelle jusqu'à sa fonte (voir la Figure 2 de la page suivante). Contrairement à l'or, les autres métaux (cuivre, zinc, etc.) vont s'oxyder et être « absorbés » par le récipient contenant l'alliage en fusion. Au final, on obtient un « bouton » d'or quasi pur. Pour déterminer le titre d'or dans l'alliage de départ, il suffit que les essayeurs aient

Carats	Millièmes	Pourcentage
24	999/1 000	99,9 %
18	750/1 000	75 %
14	584/1 000	58,4 %
9	350/1 000	35 %

Tableau 1 : Tableau d'équivalence entre carats et millièmes des titres de l'or communément commercialisés en France.

(1) Plusieurs auteurs anciens ont mentionné l'utilisation de la pierre de touche : Theognis, Bacchylide, Sophocle, Hérodote, Platon, Aristote, Pline...

(2) PLINE, Histoire naturelle, XXXIII, 126 (traduction H. ZEHACKER, 1983, Paris, Les Belles-Lettres) : « ... Quand les experts, employant les pierres de touche comme une lime, ont prélevé un échantillon du filon, ils disent aussitôt combien il contient d'or, d'argent ou de cuivre, avec une marge d'erreur d'un scrupule : procédé merveilleux et infaillible ».

peser le morceau de métal avant la coupellation, puis le « bouton » après coupellation. Par une simple règle de trois, ils obtiennent alors le titre de l'or.

Dans l'industrie minière, ce procédé couplé à des techniques d'analyse modernes est toujours utilisé pour déterminer la teneur en or d'un minerai ou d'un alliage (Document SGS, 2010). Comme dans les temps anciens, l'échantillon est mélangé à un autre métal (plomb ou nickel), puis purifié par coupellation. Le « bouton » obtenu est ensuite analysé par voie humide en spectroscopie (ou spectrométrie), ou par voie sèche en analyse par activation neutronique.

L'analyse des impuretés présentes dans l'or

L'or natif est souvent allié à l'argent, au cuivre et au mercure et, dans une moindre mesure, aux éléments du groupe du platine. Outre ces métaux, l'or peut également contenir de faibles quantités (entre 10 000 et 10 mg/kg) de la plupart des éléments présents dans le tableau périodique (BOYLE, 1979). Ces éléments mineurs et traces sont présents :

- en tant qu'éléments de substitution dans le réseau cristallin de l'or : il s'agit de l'argent, du cuivre, du fer, du nickel, du mercure, de l'arsenic, de l'antimoine, du bismuth, du tellure, du palladium et du platine ;
- sous forme d'inclusions minérales formées lors de la genèse de l'or : inclusions constituées, outre le soufre, d'éléments comme le fer, le cuivre, le zinc, le plomb, l'arsenic, l'antimoine, le tellure, le bismuth et le sélénium ;
- en tant que minéraux piégés physiquement durant le transport ou l'altération (terres rares) (HRUSCHKA *et al.*, 2016).

Tout au long de la chaîne opératoire d'extraction de l'or, les différents procédés métallurgiques utilisés vont considérablement altérer la signature initiale du minerai en modifiant les proportions entre les différents éléments chimiques. Certains éléments sont éliminés lors de la mise en œuvre des différents procédés, une élimination intervenant en particulier par volatilisation ou par séparation dans les déchets (par exemple, l'arsenic, le bismuth, etc.). D'autres sont l'objet d'ajouts (par exemple, le mercure, dans le cas du procédé d'amalgamation).

L'or affiné obtenu en fin de chaîne opératoire est d'une grande pureté, présentant une teneur en or généralement supérieure à 99,5 %. Plusieurs éléments sont toutefois toujours présents à l'état de trace dans ce produit dit pur. On trouve principalement les éléments suivants : l'argent (jusqu'à 90 mg/kg), le cuivre, le palladium, le silicium (jusqu'à 50 mg/kg), ainsi que l'arsenic et le magnésium (jusqu'à 30 mg/kg). L'or affiné contient également d'autres éléments, mais à des teneurs inférieures au mg/kg. Les bijoux créés à partir de cet or affiné sont des alliages combinant l'or avec d'autres métaux ajoutés pour faire varier sa couleur (argent, cuivre, aluminium et palladium) et augmenter sa dureté et sa durabilité (nickel et zinc).

Plusieurs techniques analytiques permettent d'identifier les impuretés contenues dans l'or. Ces techniques



Figure 2 : Un atelier d'essayeur à la fin du XVI^e siècle publié dans Thomas *et al.* (2006), d'après Lazarus Ercker (1580). Dans le fond, à droite, un four de coupellation est visible.

peuvent être destructives ou non destructives. Ce peut être soit une analyse globale, soit une analyse *in situ* destinée à caractériser l'hétérogénéité des échantillons. Dans ce paragraphe, nous allons uniquement développer les techniques permettant une analyse *in situ* à haute résolution spatiale des échantillons d'or.

Microscope électronique à balayage couplé à la spectroscopie dispersive en énergie (SEM-EDS pour Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive Spectroscopy)

Cette technique permet une analyse qualitative et semi-quantitative. Pour connaître la composition d'un échantillon, celui-ci est bombardé par un flux d'électrons, et on analyse les rayons X émis. L'analyse est rapide, puisque tous les éléments chimiques (du bore jusqu'à l'uranium) sont détectés en même temps. Les limites de détection se situent entre 1 et 0,1 % de concentration pour les éléments de poids atomique allant de moyens à légers. Le volume de matière analysée est au minimum de 1 μm^3 .

Microsonde électronique (EPMA, pour Electron Probe Micro Analysis)

À l'instar du SEM-EDS, cette technique permet d'analyser une surface de quelques μm^2 en la bombardant par un flux d'électrons et en analysant les rayons X émis en retour par la matière. Comparée au SEM-EDS, elle offre de meilleures limites de détection (jusqu'à < 100 mg/kg) ; les temps nécessaires à la mesure sont en revanche plus longs. Avec cette technique, il peut être procédé à une analyse quantitative en étalonnant le détecteur avec des standards d'élément pur.

Les deux méthodes précitées sont non destructives (absorption faite de la préparation de l'échantillon). Elles ont l'avantage de permettre à la fois d'effectuer une observation microscopique fine et d'analyser les compositions chimiques à haute résolution spatiale.

Plus récemment, au début des années 2000, des systèmes de contrôle automatisé des microscopes électroniques

Photo © BRGM

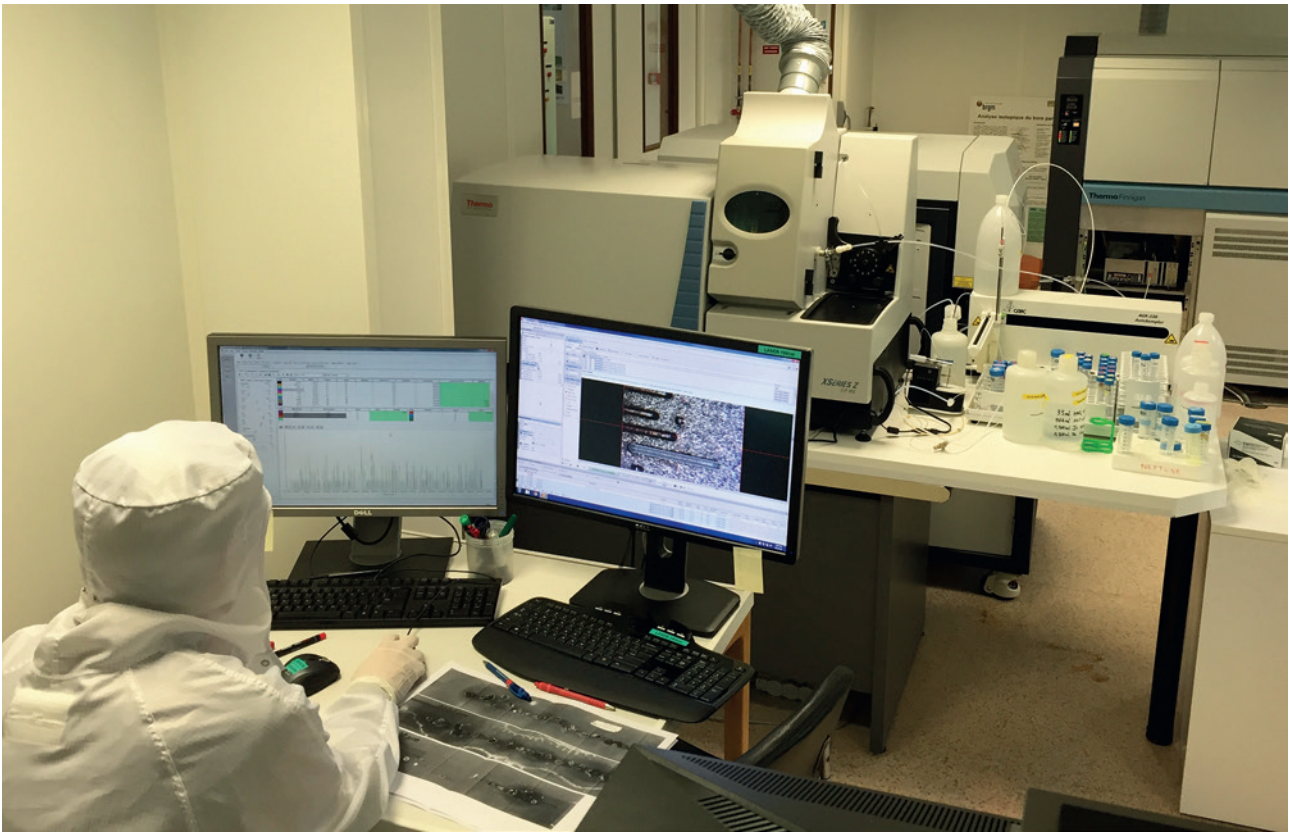


Figure 3 : Spectromètre de masse à source plasma couplé à l'ablation laser (LA-ICP-MS) utilisé dans le laboratoire du BRGM.

ont été développés, tels que QEMSCAN, MLA, Mineralogic, TIMA ou INCAMineral. Ces systèmes permettent aujourd'hui de réaliser des analyses visant à une recherche systématique de particules d'or dans des échantillons, et ce sans la présence constante de l'opérateur (GOODALL et SCALES, 2007 ; GOODALL et BUTCHER, 2012). Couplés à l'analyse d'images en haute résolution, ils permettent d'acquérir des données statistiques sur la répartition des grains d'or, la taille et la forme des particules, la nature des minéraux associés englobant l'or, etc. Cette technique s'est généralisée dans les laboratoires industriels miniers, les informations obtenues étant essentielles pour améliorer et optimiser les procédés de traitement métallurgique utilisés pour extraire l'or des minerais.

Spectroscopie sur plasma induit par laser (LIBS, pour Laser-Induced Breakdown Spectroscopy)

Une impulsion laser hautement énergétique est concentrée sur un petit point d'analyse pour former un plasma qui atomise et excite l'échantillon. La détection se fait par émission de lumière suivie d'une analyse spectrale. Cette technique permet une analyse rapide et multi-élémentaire avec des limites de détection de l'ordre d'une dizaine de mg/kg et une résolution comprise entre 1 et 10 μm . Pour obtenir une analyse quantitative, il est nécessaire de disposer de standards d'or avec une composition connue. Cette technique est quasi non destructive, étant donné la masse négligeable de matériel qui est arraché à l'échantillon. Des instruments portables ont été développés pour réaliser des mesures directement sur site. Les inconvé-

nients du LIBS sont sa faible reproductibilité et une précision analytique qui est inférieure à 10 %.

Émission X induite par particules chargées (PIXE, pour Proton Induced X-ray Emission)

Avec cette méthode, il s'agit de capter les rayons X émis par l'échantillon lorsqu'il est placé dans le faisceau d'un petit accélérateur de particules. Cette technique est non destructive. La limite de détection pour les éléments les plus légers (numéro atomique, $Z = 20-60$) se situe entre 10 et 100 mg/kg ; elle est comprise entre 100 et 600 mg/kg pour les éléments dont le numéro atomique est supérieur à 75. Cependant, il est difficile d'obtenir une haute résolution spatiale avec cette technique. En outre, la détection du mercure et du platine n'est pas possible en raison du chevauchement avec les raies L de l'or. Pour procéder à la quantification, des standards d'or avec une composition connue sont nécessaires.

Spectrométrie de masse avec ionisation par plasma à couplage inductif avec prélèvement par ablation laser (LA-ICP-MS, pour Laser Ablation Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry)

Cette technique destructive consiste à arracher physiquement de la matière à l'échantillon à l'aide d'un laser, puis à la transporter jusqu'à un ICP-MS où elle sera atomisée et ionisée pour être analysée (voir la Figure 3 de la page suivante). Les lasers actuels permettent d'échantillonner des surfaces d'environ 50 à 100 μm de diamètre, les quantités de matière détruite sont donc de l'ordre du milligramme. Les limites de détection des spectromètres les plus em-

ployés s'échelonnent entre 0,05 et 1 mg/kg pour les éléments les plus lourds (platine, palladium, argent, etc.) et sont proches de 10 mg/kg pour les éléments légers les plus difficiles à analyser comme le fer. La réalisation de mesures quantitatives nécessite d'utiliser des standards d'or de composition connue pour calibrer la réponse de l'instrument et pouvoir ainsi recalculer les concentrations.

Application : la traçabilité de l'or

Les techniques analytiques précitées, en particulier les analyses *in situ*, sont couramment employées pour identifier la signature chimique de différents composés aurifères. En archéométrie, ces signatures sont utilisées pour retracer les voies de circulation des pièces de monnaie, des bijoux et des objets anciens en or (BROSTOFF *et al.*, 2009 ; GUERRA et CALLIGARO, 2004 ; NOCETE *et al.*, 2018). En exploration minière, la signature des grains d'or alluviaux sert à localiser leur source et à cibler les gisements primaires (ANTWEILER et CAMPBELL, 1977 ; CHAPMAN *et al.*, 2002 ; CHAPMAN and MORTENSEN, 2006 ; McINNES *et al.*, 2008).

Plus récemment, ces signatures chimiques, qui peuvent être combinées à des signatures isotopiques et minéralogiques, sont utilisées dans le but d'identifier et de certifier la provenance de minerais et produits contenant de l'or. En effet, la transparence et l'intégrité des chaînes d'approvisionnement en métaux sont devenues des enjeux majeurs du commerce international. Dans le cadre de la lutte contre l'exploitation et le trafic illégaux de métaux, des initiatives internationales récentes ont instauré l'obligation pour les sociétés importatrices de mettre en place un système de traçabilité de ces métaux tout au long de la chaîne d'approvisionnement. À ce jour, il y a trois principales façons de s'assurer de la traçabilité d'un minerai dans le cadre de la mise en œuvre des processus de diligence raisonnable. En effet, au système de vérification des chaînes de responsabilités s'ajoutent le marquage chimique et le traçage géochimique qui utilisent les signatures naturelles des minerais bruts ou traités ; ce sont des voies prometteuses du fait qu'elles sont très difficilement contournables.

En 2015, un projet financé par le WWF (pour World Wide Fund for Nature) a été mené par le BRGM sur la problématique de la traçabilité de l'or de Guyane (AUGÉ *et al.*, 2015). Ce projet a mis en évidence qu'une approche couplant à la fois l'étude morphoscopique des grains d'or et la détermination de leur teneur en éléments traces métalliques et de la composition de leurs inclusions permet d'identifier de manière satisfaisante la nature et l'origine géographique de différents concentrés aurifères. Une autre étude menée par Roberts *et al.* (2016) a montré qu'il était possible de distinguer l'or légal de l'or illégal à partir de leurs teneurs respectives en plomb, en arsenic, en antimoine, en étain, en sélénium et en tellure. Les différences dans les compositions sont dues aux procédés d'extraction qui sont différents d'une filière à l'autre.

Les études relatives à la traçabilité de l'or qui s'appuient sur des outils géochimiques sont encore peu nombreuses

(AUGÉ *et al.*, 2015 ; DIXON, 2014 ; HRUSCHKA *et al.*, 2016 ; SCHMIDERER, 2008). Elles ouvrent cependant des perspectives intéressantes quant à l'utilisation des impuretés contenues dans l'or pour assurer la traçabilité de celui-ci.

Références bibliographiques

ANTWEILER J. C. & CAMPBELL W. L. (1977), "Application of gold compositional analyses to mineral exploration in the United States", *Dev. Econ. Geol.* 9, pp. 17-29.

AUGÉ T., BAILLY L., BOURBON P., GUERROT C. & VIPREY L. (2015), « Faisabilité technique d'une traçabilité physico-chimique de l'or de Guyane », Rapport final BRGM, RC-64880-FR.

BOIZARD J. (1692), *Traité des monoyes, de leurs circonstances et dépendances*, Paris, éd. A. Clairand et Jean-Yves Kind, Documents d'histoire monétaire, 2000.

BOYLE R. W. (1979), "The geochemistry of gold and its deposits (together with a chapter on geochemical prospecting for the element)", *Geol. Surv. Bull.* 280.

BROSTOFF L. B., GONZÁLEZ J. J., JETT P. & RUSSO R. E. (2009), "Trace element fingerprinting of ancient Chinese gold with femtosecond laser ablation-inductively coupled mass spectrometry", *J. Archaeol. Sci.* 36, pp. 461-466.

CAUJET B. (1991), « L'exploitation de l'or en Limousin, des Gaulois aux Gallo-Romains », in *Annales du Midi – Revue archéologique, historique et philologique de la France méridionale*, « De l'or limousin aux houillères du Gard : mines et mineurs du Midi de l'Antiquité à nos jours », pp. 149-181.

CHAPMAN R., LEAKE B. & STYLES M. (2002), "Microchemical characterization of alluvial gold grains as an exploration tool", *Gold Bull.* 35, pp. 53-65.

CHAPMAN R. J. & MORTENSEN J. K. (2006), "Application of microchemical characterization of placer gold grains to exploration for epithermal gold mineralization in regions of poor exposure", *J. Geochemical Explor.* 91, pp. 1-26.

DIXON R. (2014), "Provenance of illicit gold with emphasis on the Witwatersrand basin", PhD dissertation, University of Pretoria, South Africa.

GOODALL W. R. & BUTCHER A. R. (2012), "The use of QEMSCAN in practical gold deportment studies", *Mineral Processing and Extractive Metallurgy* 121:4, pp. 199-204.

GOODALL W. R. & SCALES P. J. (2007), "An overview of the advantages and disadvantages of the determination of gold mineralogy by automated mineralogy", *Miner. Eng.* 20, pp. 506-517.

GUERRA M. F. & CALLIGARO T. (2004), "Gold traces to trace gold", *J. Archaeol. Sci.* 31, pp. 1199-1208.

HOEFER F. (1842), *Histoire de la chimie depuis les temps les plus reculés jusqu'à notre époque*, Paris, Firmin Did. ed.

HRUSCHKA F., MELCHER F. & KAIN-BÜCKNER B. (2016), "Analytical Tools to Constrain the Origin of Gold from Conflict-affected and High-Risk Areas: Scoping Study based on the DR Congo", BGR report, Leoben.

McINNES M., GREENOUGH J. D., FRYER B. J. & WELLS R. (2008), "Trace elements in native gold by solution ICP-MS and their use in mineral exploration: A British Columbia example", *Appl. Geochemistry* 23, pp. 1076-1085.

MICHEL R. (1985), « Métallurgie de l'or », *Tech. de l'ingénieur* M2384 V1, pp. 1-14.

NOCETE F., SÁEZ R., NAVARRO A. D., SAN MARTIN C. & GIL-IBARGUCHI J. I. (2018), "The gold of the Carambolo Treasure: New data on its origin by elemental (LA-ICP-MS) and lead isotope (MC-ICP-MS) analysis", *J. Archaeol. Sci.* 92, pp. 87-102.

ROBERTS R. J., DIXON R. D. & MERKLE R. K. W. (2016), "Distinguishing Between Legally and Illegally Produced Gold in South Africa", *J. Forensic Sci.* 61, pp. 230-236.

SCHMIDERER A. (2008), "Geochemische Charakterisierung von Goldvorkommen in Europa", PhD dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

SGS Minerals Services (2010), « Analyses de métaux précieux et autres analyses ».

TÉREYGEOL F. & THOMAS N. (2003), « La coupellation des alliages cuivre-argent : approche expérimentale de l'essai d'argent par voie sèche », *Rev. d'Archéométrie* 27, pp. 171-181.

THOMAS N., MARTINÓN-TORRES M., GOY C. & REHREN T. (2006), « La fouille archéologique du quartier Velotte à Montbéliard : nouvelles données sur des opérations de chimie oubliées », *Bull. la Société d'émulation Montbéliard* 155, pp. 441-465.

Le marché de l'or et les réserves des banques centrales

Par **Nathalie AUFAUVRE**
Banque de France

Les banques centrales sont historiquement les témoins et les acteurs privilégiés des évolutions de l'or en tant qu'actif monétaire, puis financier. Jusqu'à la fin du XX^e siècle, la gestion des réserves d'or des banques centrales, principalement dans les pays développés, a été largement déterminée par le rôle de l'or en tant qu'actif monétaire. Puis celui-ci s'est effacé progressivement au profit d'une conception plus financière, à la faveur des crises financières qui se sont succédé depuis 2008. Ce contexte renouvelé a vu s'accroître le rôle des banques centrales des pays émergents qui sont devenues acheteuses nettes d'or.

Historiquement, les banques centrales sont des acteurs majeurs du marché de l'or. Aujourd'hui, l'or est-il une « relique barbare », comme le qualifiait Keynes⁽¹⁾, ou un actif essentiel, notamment en périodes d'aversion au risque ?

Dans cet article, nous nous attacherons, dans un premier temps, à retracer l'activité des banques centrales en matière de gestion de leurs réserves d'or, du milieu du XIX^e siècle à nos jours. Nous aborderons ensuite l'activité des banques centrales sur le marché de l'or en liaison avec le rôle monétaire pour l'or. Enfin, nous présenterons le regain d'intérêt pour l'or en tant qu'actif financier, à la fois comme valeur refuge dans des périodes de forte aversion au risque sur les marchés financiers et comme facteur de limitation du risque au sein d'un portefeuille diversifié.

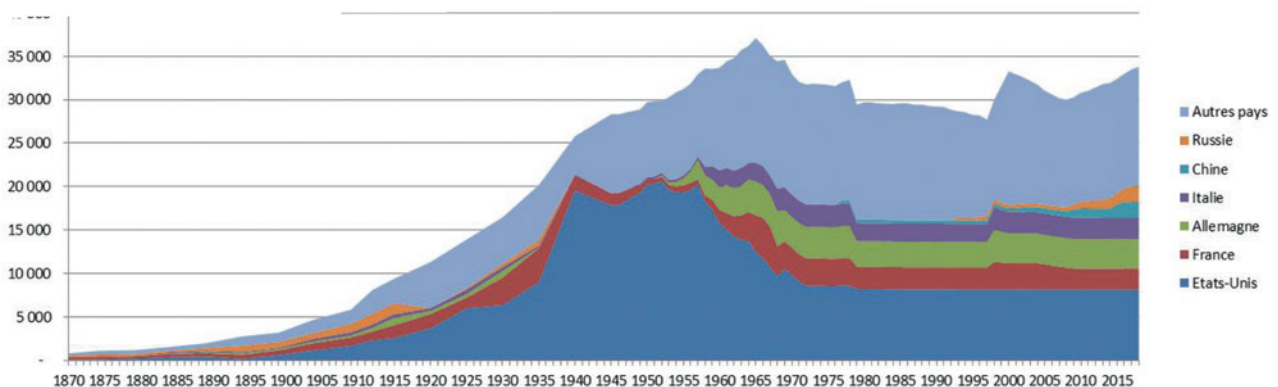
Les banques centrales détiennent aujourd'hui près d'un cinquième du stock d'or mondial

Les banques centrales des pays avancés sont des acteurs majeurs traditionnels du marché de l'or

Historiquement, les banques centrales, majoritairement celles des pays développés, sont des acteurs majeurs du marché de l'or à travers leur détention de réserves d'or importantes.

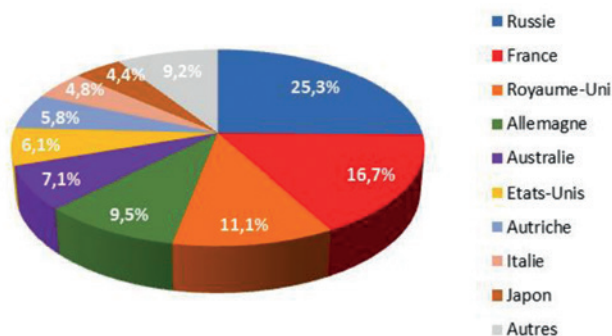
Dès le milieu du XIX^e siècle, les banques centrales des pays développés prennent progressivement une place

(1) KEYNES J. M. (1923), A Tract on Monetary Reform.



Graphique 1 : Évolution des réserves mondiales en or des banques centrales de 1870 à 2018.
Source : World Gold Council.

importante sur le marché de l'or à travers la détention de réserves allant croissantes. Ainsi, en 1900, les réserves mondiales des banques centrales s'élèvent à 3 175 tonnes, celles-ci étant essentiellement localisées aux États-Unis, en France, en Russie, au Royaume-Uni, en Allemagne et en Italie.



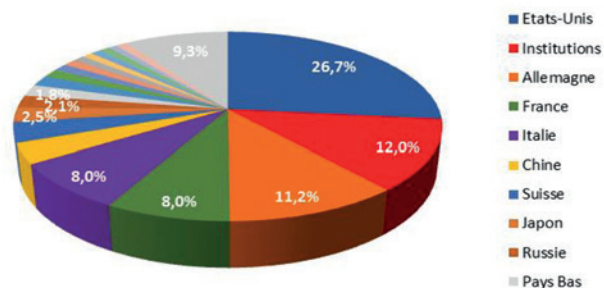
Graphique 2 : Répartition des réserves d'or des banques centrales à la fin du XIX^e siècle.

Source : World Gold Council.

Après une baisse des stocks d'or des banques centrales des économies avancées pour contribuer à l'effort de guerre, la sortie du second conflit mondial marque une période de reconstitution des réserves. Les réserves mondiales des banques centrales qui s'établissaient à 28 330 tonnes en 1945 atteignent ainsi un niveau maximum de 37 124 tonnes en 1965, avec une part dominante détenue par les États-Unis (12 499 tonnes, soit 32 % de l'ensemble des réserves d'or détenues par les banques centrales).

Après cette période d'expansion, les années 1970 sont marquées par une relative stabilité des réserves en or des banques centrales, une situation qui perdure jusqu'au milieu des années 1990. La répartition géographique des réserves demeure sensiblement la même avec une prépondérance marquée des banques centrales d'Europe et des États-Unis.

Les années 1990 constituent un tournant : en effet, les banques centrales deviennent vendeuses nettes d'or, comportement qui s'accroît à la fin des années 1990. Ainsi, de 1999 à 2009, les banques centrales procèdent à la vente de 3 884 tonnes, soit un volume de ventes annuel de près de 400 tonnes, ce qui représente un tonnage supérieur à la production annuelle de l'Afrique du Sud, qui



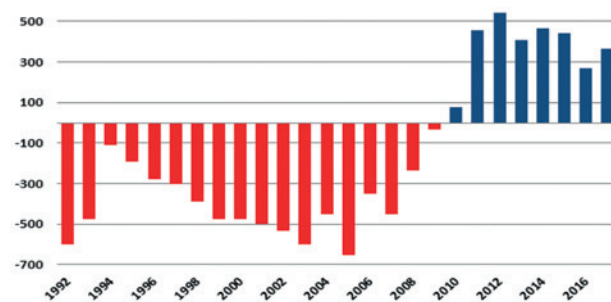
Graphique 3 : Répartition des réserves d'or des banques centrales en 2009.

Source : World Gold Council.

est alors le premier producteur mondial. Jusqu'en 2009, les banques centrales représentent la seconde source d'offre d'or derrière l'extraction minière. Les principales baisses des stocks d'or des banques centrales au cours de cette période sont observées en France (- 390 t), en Suisse (- 250 t), en Espagne (- 176 t) et aux Pays-Bas (- 82 t).

Les banques centrales des pays émergents jouent aujourd'hui un rôle prépondérant dans la constitution des stocks d'or

Après une longue période de réduction de leur détention de métaux précieux, l'un des développements les plus significatifs du marché de l'or consécutif à la crise financière de 2008 est le changement de positionnement des banques centrales à l'égard de cet actif, celles-ci redevenant des acheteuses nettes d'or.

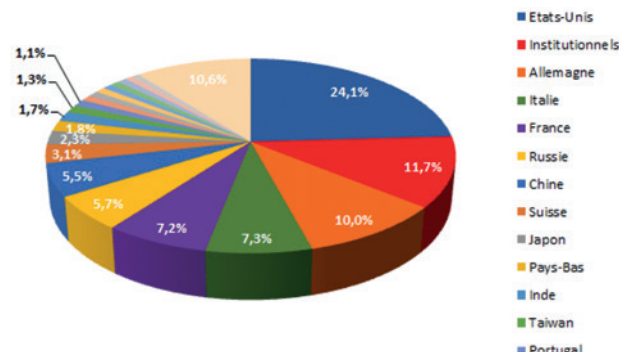


Graphique 4 : Évolution du comportement des banques centrales sur le marché de l'or de 1992 à 2018, 2010 marquant une reprise des achats d'or par lesdites banques.

Sources : World Gold Council et Commerzbank.

Ce comportement d'acheteur s'observe tout particulièrement chez certaines banques centrales des marchés émergents, dont l'appétit pour l'or s'est considérablement accru, favorisant une translation progressive du marché de l'or vers l'Asie. En 2017, les banques centrales ont ainsi été acheteuses nettes d'or à hauteur de 371 tonnes, marquant tout de même un léger repli par rapport à 2016 (390 tonnes).

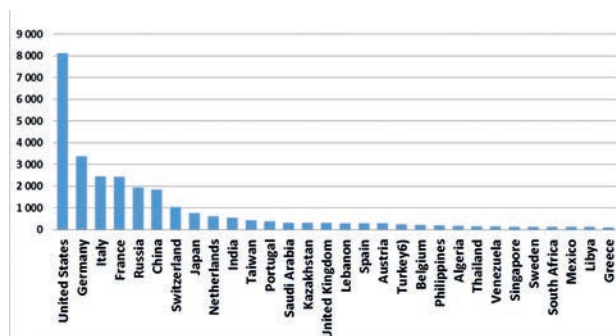
En 2018, les réserves d'or mondiales s'élèvent à 33 734 tonnes, soit environ le cinquième du stock mondial d'or en surface. Si les principaux pays détenteurs des



Graphique 5 : Répartition des réserves d'or des banques centrales en juillet 2018.

Source : World Gold Council.

réserves mondiales d'or restent les États-Unis (8 133 t), l'Allemagne (3 372 t), l'Italie (2 451 t) et la France (2 436 t), les principales banques centrales acheteuses d'or sont désormais localisées dans des marchés émergents (Arabie Saoudite, Chine, Corée, Inde, Kazakhstan, Mexique, Russie, Thaïlande, Turquie...).



Graphique 6 : Les 30 premières banques centrales détentrices d'or en juillet 2018 (en tonnes).

Source : World Gold Council.

L'ensemble de ces réserves d'or représentent aujourd'hui encore une part significative des réserves de change des banques centrales ; une part qui dans certains pays peut représenter jusqu'à 75 % de celles-ci (les États-Unis, par exemple).

Rang	Pays	Détention (en tonnes)	Part de l'or dans les réserves officielles
1	États-Unis	8 133	75 %
2	Allemagne	3 372	70,3 %
3	Italie	2 451	67,8 %
4	France	2 436	63,4 %
5	Russie	1 890	17,6 %
6	Chine	1 842	2,4 %
7	Suisse	1 040	5,4 %
8	Japon	765	2,6 %
9	Pays-Bas	612	67,2 %
10	Inde	561	5,6 %
11	Taiwan	423	3,7 %
12	Portugal	382	63,3 %
13	Arabie Saoudite	323	2,7 %
14	Kazakhstan	318	42,6 %
15	Royaume-Uni	310	8,4 %
16	Liban	286	21,4 %
17	Espagne	281	17 %
18	Autriche	280	47,6 %
19	Turquie	238	10,3 %
20	Belgique	227	36 %
21	Philippines	196	10,4 %
22	Algérie	174	7,2 %
23	Thaïlande	154	3 %
24	Venezuela	150	64,3 %
25	Singapour	127	1,8 %
26	Suisse	126	8,5 %
27	Afrique du Sud	125	10,6 %
28	Mexique	120	2,8 %
29	Libye	116	6 %
30	Grèce	113	63 %

Tableau 1 : Le volume et la part de l'or dans les réserves de change des 30 premières banques centrales, en 2018.

Source : World Gold Council.

Le rôle monétaire de l'or

Le rôle-clé de l'or dans le système monétaire international

À la veille de la Seconde Guerre mondiale, l'or joue un rôle monétaire prépondérant en tant que composant principal de la masse monétaire en circulation au niveau national et en tant que référence du système monétaire international (système d'étalon de change-or, ou Gold Exchange Standard), justifiant des détentions importantes de ce métal précieux par les banques centrales des pays industrialisés, en Europe et aux États-Unis.

Mais la fin de la Seconde Guerre mondiale marque l'effacement progressif du rôle monétaire de l'or au niveau national, l'or cédant sa place dans les transactions à d'autres instruments de paiement⁽²⁾.

Au niveau international, l'or continue cependant de jouer un rôle important dans le nouveau système international, né de la signature des accords de Bretton-Woods le 22 juillet 1944⁽³⁾, un système fondé sur la convertibilité-or du dollar⁽⁴⁾. La création du Fonds monétaire international, en 1944, confirme le rôle central de l'or dans le nouveau système monétaire international, le cours de l'or étant fixé à 35 dollars l'once. En 1961, la mise en place d'un accord amiable entre banques centrales, connu sous le nom de Gold Pool, marque un premier effort de coopération visant à maintenir le cours officiel de l'or à 35 dollars. Cet accord prend fin en 1968 avec la mise en place d'un système hybride permettant aux banques centrales de s'échanger de l'or au cours officiel et d'effectuer des ventes d'or au secteur privé à un prix soumis à la loi de l'offre et de la demande.

L'effacement du rôle monétaire de l'or

Dans les années 1970, le rôle monétaire de l'or au niveau international cesse sous l'effet successif de la suspension de la convertibilité-or du dollar par le président américain Richard Nixon (août 1971), des premiers accords de régime de changes flottants (mars 1973) et de la signature des accords de la Jamaïque⁽⁵⁾ (8 janvier 1976).

À partir de 1976, l'effacement du rôle monétaire de l'or et l'absence de rendement associé à la détention de cet actif conduisent progressivement les banques centrales à se désintéresser de cet actif. Après une période de stabilité des réserves, les banques centrales deviennent progressivement vendeuses nettes d'or, ce qui conduit à la mise en place d'un cadre pour stabiliser le marché de l'or.

Ainsi, les Central Bank Gold Agreements (CBGA) permettent, à partir de 1999, d'encadrer les ventes d'or des

(2) Billets, monnaie scripturale ou monnaies métalliques frappées à partir d'autres métaux, tels que le bronze ou le cuivre.

(3) Système d'étalon de change-or ou Gold Exchange Standard.

(4) Sur la base du cours d'une once d'or (pour mémoire, 35 dollars).

(5) Les accords de la Jamaïque, qui réunissent les ministres des Finances siégeant au comité intérimaire du FMI, marquent l'abandon officiel du rôle monétaire de l'or au sein du système international et confirment l'abandon du système de parités de change fixes.

banques centrales afin de limiter leur impact dépressif sur le cours de l'or.

La mise en place du premier CBGA en septembre 1999 intervient au cours d'une période d'inquiétude croissante sur l'impact potentiel sur le cours de l'or⁽⁶⁾ de ventes massives et non coordonnées de ce métal précieux par des banques centrales, alors même que les réserves de l'ensemble des banques centrales représentaient à cette date un quart du stock d'or mondial. Quinze banques centrales nationales européennes⁽⁷⁾ (ainsi que la BCE) signent à Washington le premier CBGA, qui prévoit, d'une part, de limiter le volume agrégé de leurs ventes à 2 000 tonnes sur une période de cinq ans (soit 400 tonnes par an) et, d'autre part, de ne pas augmenter la quantité d'or qu'elles sont susceptibles de prêter au cours de cette même période. Cet accord met fin à la baisse du cours de l'or⁽⁸⁾ et constitue un facteur majeur du retour à la stabilité sur le marché de l'or.

Cet accord est suivi de trois autres CBGA (mars 2004, septembre 2009 et mai 2014). Chaque accord couvre une période de cinq ans : chacun d'eux est l'occasion

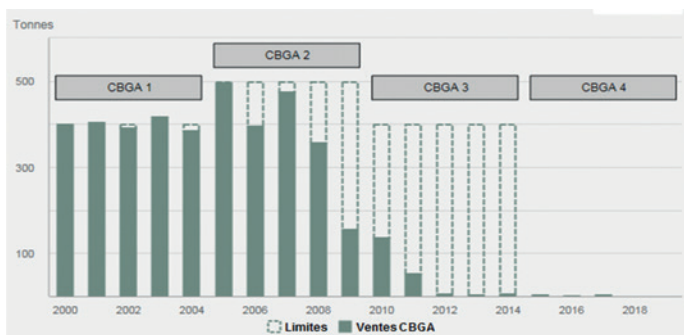
d'intégrer de nouveaux signataires et d'ajuster le volume d'or global pouvant être vendu par les banques centrales au cours de la période considérée. Le quatrième CBGA de 2014 a une couverture élargie, puisqu'il inclut vingt banques centrales européennes (et la BCE)⁽⁹⁾, mais il a une portée limitée dans un contexte où les banques centrales ne procèdent plus à des ventes d'or et sont même, pour certaines, redevenues acheteuses nettes d'or.

L'or en tant qu'actif financier

Après une longue période de relative stabilité dans les années 1980 et 1990, le prix de l'or, exprimé en dollar américain, a augmenté au début des années 2000. Cette hausse s'est accentuée avec la crise financière de 2008, jusqu'à un niveau record de 1 921 dollars l'once, atteint en septembre 2011, au moment de la crise des dettes souveraines européennes.

Des caractéristiques qui font de l'or un support d'investissement financier très apprécié

Le regain d'intérêt pour l'or s'explique par certaines caractéristiques de cet actif qui lui permettent de jouer un rôle de valeur refuge.



Graphique 7 : Ventes d'or réalisées dans le cadre des CBGA⁽¹⁰⁾. Source : World Gold Council.

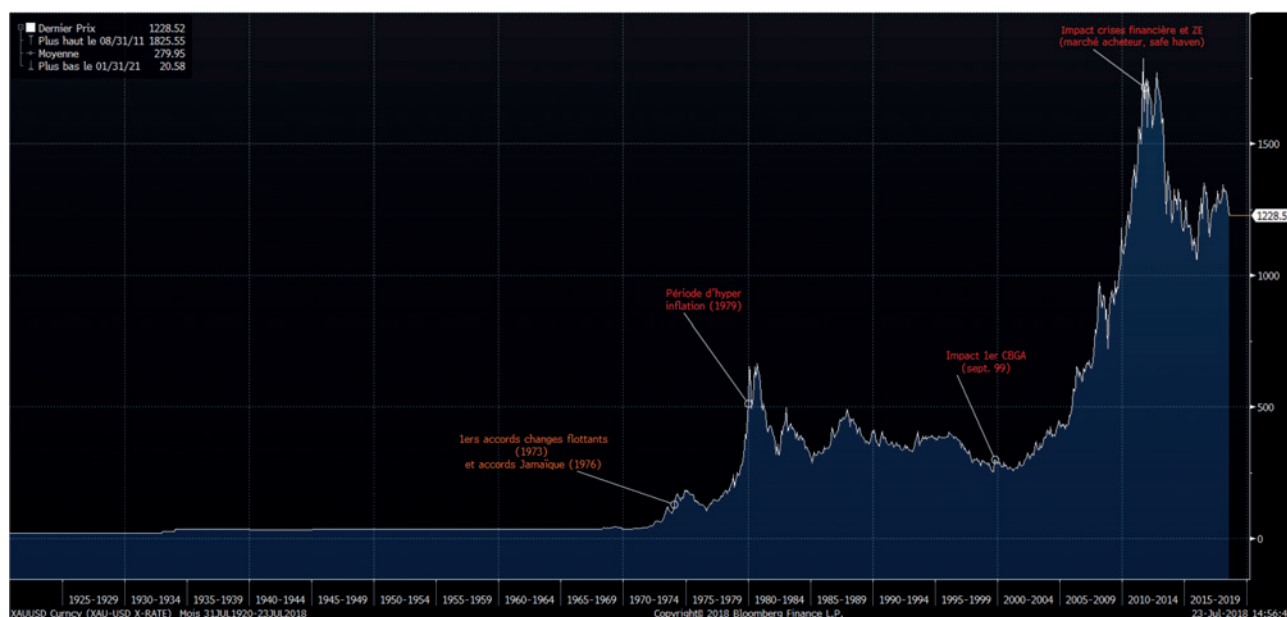
(6) Au cours des années 1990, le cours de l'or s'établissait à moins de 400 dollars américains en moyenne avec un point bas à 252 dollars en septembre 1999.

(7) En 1999, cet accord incluait les quinze banques centrales de la zone Euro ainsi que la Suisse, la Suède et le Royaume-Uni, représentant 45 % des réserves mondiales d'or.

(8) Rebond à \$325 dans les jours suivant la signature de l'accord alors que le cours était de \$255 au moment de la signature.

(9) En juillet 2018, la BCE et les vingt banques centrales membres de l'accord CBGA représentent près de 30 % des réserves mondiales d'or officielles.

(10) Source : FMI, BCE et World Gold Council, données à fin juin 2017.

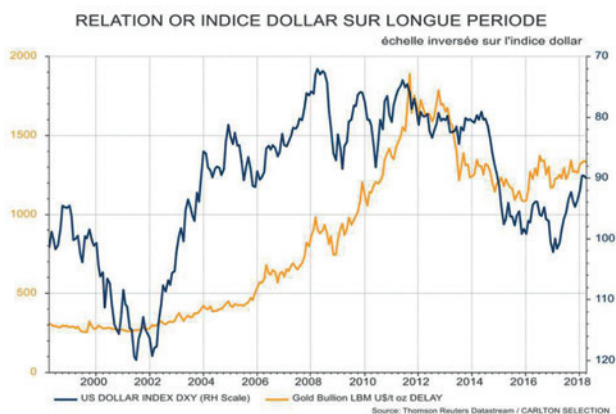


Graphique 8 : Évolution du prix de l'or depuis 1920. Source : Bloomberg.

D'abord, l'or présente des corrélations faibles voire négatives avec d'autres actifs financiers, utiles pour la constitution d'un portefeuille optimal⁽¹¹⁾.

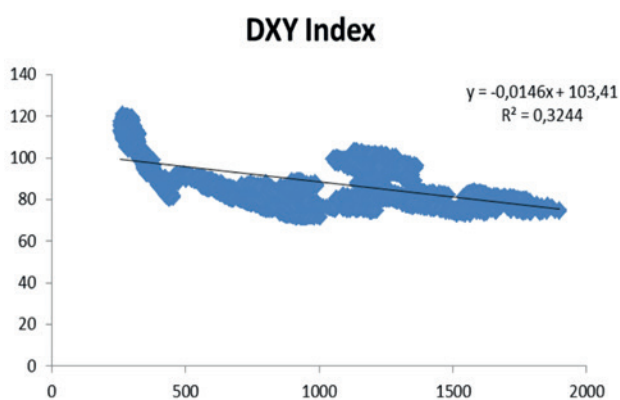
Il est en outre particulièrement recherché en cas de crise financière ou de volatilité significative sur les marchés financiers, lorsqu'augmente la probabilité d'un risque de perte extrême sur une classe d'actifs. La succession de crises financières ayant affecté la confiance des investisseurs, ceux-ci se tournent vers l'or en tant que valeur refuge, cet attrait constitue l'un des principaux facteurs explicatifs de la tendance haussière alors observée.

La détention d'or constitue également un instrument de couverture contre le risque d'une exposition significative aux variations du cours du dollar américain. L'once d'or étant majoritairement cotée en dollars, une hausse de la devise américaine fera mécaniquement baisser le prix de l'or et diminuera de fait son attractivité pour un investisseur étranger. La corrélation à long terme entre l'or et le dollar est donc négative : elle offre aux détenteurs d'or une protection naturelle contre une baisse du dollar.



Graphique 9 : Relation entre le prix de l'or et l'évolution du cours du dollar.

Source : Bloomberg.

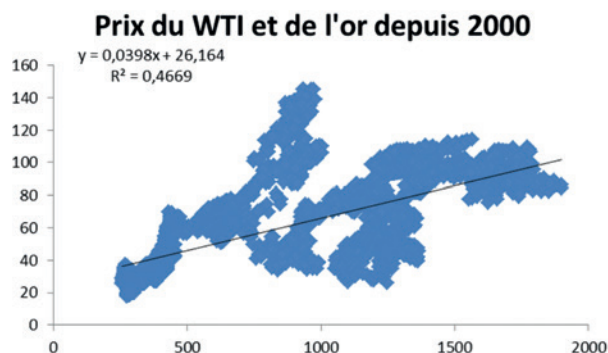


Graphique 10 : Relation entre le prix de l'or exprimé en dollar par once (x) et le taux de change effectif du dollar (y) depuis 2000.

Source : Bloomberg.

Par ailleurs, l'or représente également un instrument privilégié pour des gestionnaires de portefeuille soucieux de se protéger contre l'inflation, l'or faisant partie des catégories d'actifs⁽¹²⁾ dont la valeur augmente pendant les périodes de forte inflation.

Le prix de l'or présente également une corrélation positive avec le prix des autres matières premières, du pétrole en particulier. L'or étant lui-même une matière première, son cours est naturellement influencé par les conditions de sa production minière. Une proportion sensible des dépenses des compagnies minières relatives à l'exploration, à l'extraction et à la production d'or varie donc en fonction de l'évolution des prix de l'énergie. Ces compagnies auront ainsi tendance à répercuter les variations du prix du pétrole dans le prix de vente de l'or extrait.



Graphique 11 : Relation entre le prix de l'or exprimé en dollar américain par once (x) et le prix du premier contrat « future » WTI exprimé lui aussi en dollar (y), depuis 2000.

Source : Bloomberg.

Enfin, il convient de noter qu'un environnement de taux d'intérêt bas constitue également un facteur d'attractivité de l'or, du fait du coût d'opportunité relatif à son portage qui diminue lorsque les taux précités diminuent.

Ces caractéristiques favorisent une demande croissante de l'or à des fins d'investissement

Bien que la demande porte principalement sur l'or physique, en particulier la production de bijoux (53 %) portée par le dynamisme traditionnel des marchés indien et chinois, la part de la demande d'or à des fins d'investissement s'est sensiblement accrue, passant de moins de 10 % en 2001 à 30 % aujourd'hui.

Face à cette inflexion, les marchés financiers ont su innover pour faciliter l'accès des investisseurs à ce marché et améliorer le rendement d'un actif traditionnellement peu rémunérateur, ce qui se traduit aujourd'hui par une multiplicité des supports d'investissement.

Les *swaps* or (contrat prévoyant un échange d'or contre des devises lors de la mise en place de l'opération et un échange en sens inverse à l'échéance du contrat à un prix de l'or fixé lors de la signature du contrat) permettent aux détenteurs d'or de le prêter en dégageant un rendement sur la période de prêt.

(11) Au sens de la détermination d'un couple rendement/risque efficient selon Harry Markowitz.

(12) Les autres actifs protégeant contre l'inflation sont les obligations indexées sur l'inflation et l'immobilier.

Les dépôts or permettent également aux acteurs financiers de prêter leur or pour une durée déterminée et de bénéficier d'une rémunération.

Les Exchange Traded Funds (ETFs) or, lancés en 2003, sont des titres cotés en continu, à l'instar des actions, et sont échangeables sur des marchés organisés, adossés à un actif physique (l'or). Ils ont connu une progression marquée depuis la crise financière, avec un encours de 2 430 tonnes en mai 2018 contre 700 tonnes en 2007. Les ETFs or permettent aux investisseurs de bénéficier d'une

exposition au prix de l'or sans avoir à stocker physiquement cet actif. Fin mai 2018, la capitalisation des 10 principaux ETFs représentaient 66 % du marché total, dont 47 % des encours pour les deux plus importants ETFs, que sont SPDR Gold Shares (State Street) et iShares Gold Trust (Blackrock)⁽¹³⁾.

(13) Respectivement 847 tonnes (SPDR) et 286 tonnes (iShares).

La place de l'or dans l'épargne des Français et les moyens pour la mobiliser

Par François de LASSUS
CPoR Devises, groupe Tessi

La France a représenté, jusqu'à la fin des années 1960, la référence du marché de l'or physique d'investissement dans le monde, tant les volumes d'échanges étaient importants : ce dynamisme du marché allant de pair avec la constitution d'un bas de laine or record d'au moins 3 000 tonnes. À partir des années 1970, si le marché a chuté de façon inexorable, le niveau du bas de laine est resté, quant à lui, quasiment inchangé alors qu'il aurait dû baisser à due proportion. De fait, les épargnants français, qui pour 80 % d'entre eux détiennent de l'or acquis au cours des années glorieuses du marché ou par héritage, ne souhaitent pas vendre aussi longtemps que sur cet actif reposera une taxe à la revente dont le taux est jugé trop élevé et quasi confiscatoire. Il n'en reste pas moins que 8 % des détenteurs seraient certainement prêts à vendre si la législation évoluait dans un sens plus favorable. Libérer ne serait-ce que 5 % de cet or permettrait de mobiliser pour l'économie l'équivalent de 4,5 milliards d'euros.

La France, un pays qui fut longtemps le leader du marché de l'or investissement

L'histoire montre qu'en temps de tensions politiques, économiques et sociales, les Français (à l'instar d'une majorité d'épargnants dans le monde) achètent de l'or, qui est considéré historiquement comme une valeur refuge. Cette spécificité de l'or repose notamment sur sa valeur intrinsèque, sa liquidité, sa non-corrélation (ou alors négative) avec la plupart des actifs financiers ainsi que son absence de risque émetteur pour les pièces et lingots.

L'évolution du marché de l'or à Paris, depuis les années 1940

De 1940 à 1945, le marché noir était particulièrement florissant. Les cours officiels du Napoléon ont reflété les craintes et les espoirs des Français. La pièce est cotée 500 francs en juillet 1940, 1 000 FF en septembre, 2 050 FF en février 1941 et 4 300 FF en novembre 1942, avant de revenir à 3 500 FF au moment du débarquement allié en 1944.

La France a de nouveau autorisé le commerce de l'or après la guerre, en instituant un marché officiel de l'or à la Bourse de Paris, lequel a ouvert le 19 février 1948. Cette création d'une cotation de l'or physique sur un marché régulé faisait figure d'exception dans le monde, puisque la cotation de l'or se faisait de gré à gré. À noter tout de

même que ce marché officiel n'était limité qu'aux seuls produits d'or physique admis à la cote à la Bourse de Paris. Aussi, aux yeux des opérateurs internationaux, le marché de Paris apparaissait trop franco-français...

La France d'après-guerre, dans les années 1950 à 1970, était le leader du marché de l'or investissement. Le volume moyen des transactions était de 200 à 300 tonnes par an, avec des pointes à 450 tonnes en 1958 (émissions des emprunts Pinay indexés sur l'or) et à 600 tonnes en 1968 (ce qui n'était pas dû uniquement aux « événements », mais également à la suspension des transactions de l'or avec l'étranger et à l'introduction de la cotation des barres).

À partir des années 1970, le marché de l'or investissement en France baisse sans discontinuer en volume (passant de 250 à 139 tonnes en 1971). À cela, plusieurs raisons :

- la démonétisation de l'or voulue par le président Nixon, dès l'année 1971 ;
- la désaffection du public vis-à-vis des placements or au profit du dynamisme d'autres valeurs mobilières comme les actions et les obligations ;
- l'introduction de la taxe forfaitaire sur les ventes en janvier 1977 et son évolution à la hausse : ainsi, elle est passée de 4 à 6 % en janvier 1981, puis à 6,5 % en 1985, à 7 % en 1986, à 7,5 % en 1992, à 10 % en 2014 et à 11 % aujourd'hui ;
- la suppression de l'anonymat des transactions en 1981

qui, bien que rétabli en 1986, a été considérablement restreint dans la pratique, dès 1993.

Il en a résulté une réduction substantielle du volume des échanges qui conduisit à la fermeture du marché de l'or sur Euronext en 2004 (la faiblesse des transactions ayant entraîné une baisse du nombre des opérateurs à un niveau inférieur à celui nécessaire à l'établissement technique d'une cotation officielle). Notons que, depuis cette fermeture, le premier intervenant sur le marché en France, qui en assure de fait la liquidité, indique chaque jour (à 13 heures) les cours de référence auxquels sont répondus tous les ordres passés par les particuliers auprès des établissements financiers et des professionnels agréés. Il se réfère pour cela au cours international de l'or ainsi qu'à l'offre et à la demande des produits d'or (pièces, lingotins et lingots) les plus échangés.

Les Français figurent parmi les champions mondiaux de la thésaurisation de l'or

Il s'agit là d'une véritable tradition nationale. Il est assez difficile de connaître le montant exact de ce bas de laine. Cependant, en s'appuyant sur les frappes successives de lingots et de pièces (515 millions de pièces Napoléon frappées entre 1803 et 1914) et sur un volume de transactions qui varie entre 200 et 300 tonnes par an des années 1950 aux années 1960 sur le marché officiel de l'or à la Bourse de Paris, les spécialistes s'accordent sur une fourchette de 3 000 à 3 500 tonnes d'or qui seraient thésaurisées par les particuliers français (un tiers sous forme de lingots et deux tiers sous forme de pièces, principalement des Napoléons). Le GFMS (Gold Fields Minéral Services Ltd) estimait, en 2000, le bas de laine des Français à 3 600 tonnes. Bien que non publiées, les sources autorisées l'estiment de nos jours à un chiffre de 3 300 tonnes. Ce qui représente tout de même 900 tonnes de plus que le stock détenu actuellement par la Banque de France, lequel atteint les 2 436 tonnes (site du Conseil mondial de l'or : www.gold.org). En valeur, le bas de laine or français représente près de 100 milliards d'euros⁽¹⁾.

L'épargne or est plutôt bien répartie dans la population française

Une enquête Ipsos réalisée en 2014 montre que 16 % des Français déclarent posséder ou avoir possédé de l'or sous forme de pièces ou de lingots. Ces 16 % de détenteurs (voir la Figure 1 ci-contre) reflètent une représentation de l'ensemble de la population française (13 % de ménages à revenus modestes, 13 % d'ouvriers, 17 % d'employés, 20 % de cadres et 20 % de ménages à revenus élevés). L'or n'est pas un produit de riche, bien au contraire, c'est plutôt un placement populaire. 80 % des personnes qui détiennent cet or l'ont obtenu par héritage ou donation, et 73 % le détiennent depuis plus de dix ans.

Une fiscalité qui fige le bas de laine des Français

Les ventes d'or sont soumises aux deux régimes distincts de fiscalité suivants :

- soit à la taxe forfaitaire sur les métaux précieux (TFMP), qui s'applique sur la totalité de la vente, qu'il y ait ou non une plus-value. Le taux de cette taxe n'a cessé d'aug-

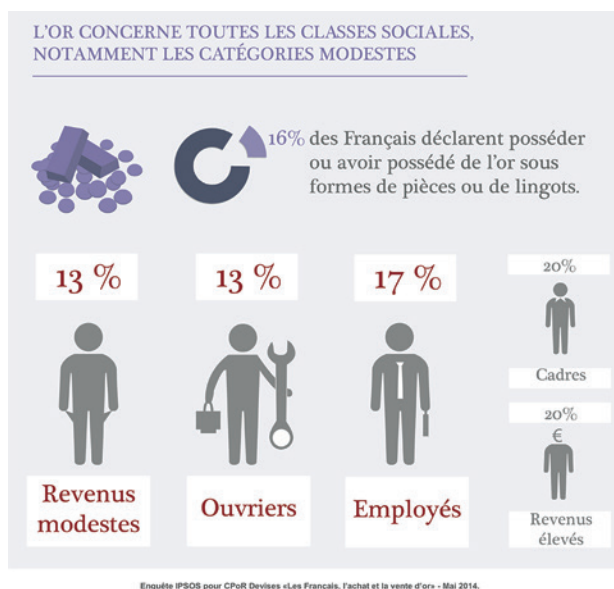


Figure 1.

menter depuis sa création, en 1976. Il est aujourd'hui de 11,5 % (dont 0,5 % au titre de la CRDS). Cette taxe ne rapporte, bon an, mal an, que de 70 à 80 millions d'euros, exception faite de l'année 2012 où elle a culminé à 100 millions, essentiellement sous l'effet de l'explosion de la vente de vieil or (bijoux et débris destinés à la fonte) et non de celle de pièces et lingots (voir le Tableau ci-dessous) ;

TFMP	LF ¹	LFR ²	LR ³ (montant réel)
2013	92,4	92	70
2014	122	101	76
2015	94	82	73
2016	84	75	79,5
2017	76,8	76	Non disponible
2018	78,2		

(1) Loi de finance initiale.

(2) Loi de finance rectificative.

(3) Loi de règlement.

Tableau 1 : Évolution des recettes annuelles estimées et réalisées de la TFMP.

- soit au régime de taxation des plus-values sur biens meubles au taux de 36,2 % (en incluant l'impact de la hausse de 1,7 % de la CSG au 1^{er} janvier 2018). Cette option introduite en 2006 bénéficie aux acheteurs arrivés sur le marché à la faveur de la crise de 2008. Elle ne peut en aucun cas bénéficier aux Français dont le bas de laine résulte d'un héritage ou d'une donation : ils ne peuvent pas de fait justifier de la date et du prix d'acquisition de leur or, condition nécessaire à l'exercice de cette option.

L'or investissement, un marché dynamique dans le monde et l'Union européenne, à l'exception de la France

Comme nous l'avons vu précédemment, l'or en tant que placement investissement s'est trouvé relégué au second

(1) Sur la base d'un prix du gramme d'or à 30 €.

plan à partir des années 1980, suite notamment au rapide développement des marchés financiers.

Cependant, les années 2000 ont marqué un regain de l'intérêt des investisseurs à la fois institutionnels et particuliers pour l'or. Une combinaison de facteurs, qui bien souvent interagissent entre eux, explique cet activisme sur le marché de l'or :

- la hausse du cours de l'or qui, entre 2000 et 2012, a été multiplié par 5 (voir la Figure 2 ci-contre), « superformant » ainsi le rendement de la plupart des autres actifs financiers et alternatifs ;
- l'émergence de nouvelles puissances économiques, telles que la Chine et l'Inde, qui s'est traduite par une croissance de la capacité d'investissement des populations de ces pays, lesquelles ont une affinité historique et culturelle avec l'or appréhendé comme un instrument d'épargne. À noter qu'à elles deux, la Chine et l'Inde pèsent près de 50 % du total de la demande d'or (toutes utilisations confondues) ;
- un environnement concurrentiel et législatif plus favorable, telles que :
 - d'une part, l'exonération de la TVA sur l'achat d'or physique aux fins d'investissement (pièces et lingots), laquelle a été étendue en 2000 à l'ensemble des États membres de l'Union européenne, pérennisant ainsi les régimes d'exception existant dans certains pays (France, Luxembourg, Belgique) et permettant la libéralisation d'autres marchés à fort potentiel (l'Allemagne et l'Autriche, notamment) ;
 - d'autre part, l'introduction, à partir de 2003, sur les principales places financières de fonds indiciels (ou produits similaires) adossés à de l'or physique (appartenant aux détenteurs des titres) et répliquant à l'identique l'évolution du cours de l'or. Ces ETFs ou ETCs ont connu un véritable succès auprès des investisseurs (notamment les institutionnels), comme l'illustre le nombre de tonnes d'or déposées à titre de garantie (voir la Figure 3 ci-dessous).

Spot gold price in USD



Figure 2 : Évolution du cours de l'or.

- La crise des *subprimes* (ou actifs dits toxiques) de 2008 qui a détourné des marchés financiers un grand nombre d'investisseurs et d'épargnants au profit des actifs réels. Ainsi, l'on a assisté à une hausse remarquable de la demande pour l'or physique d'investissement dans le monde, avec en Europe, une renaissance de l'appétit pour les pièces et lingots (voir les Figures 4 ci-après et 5 de la page suivante). Pour leur part, les Français ont suivi cette tendance en devenant acheteurs nets à partir de 2009.

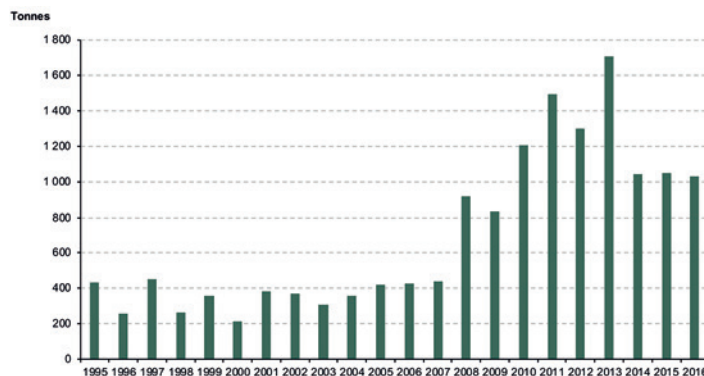


Figure 4 : Demande mondiale pour les pièces et lingots en volume. Sources : Metals Focus ; GFMS, Thomson Reuters ; World Gold Council.

Assets Under Management

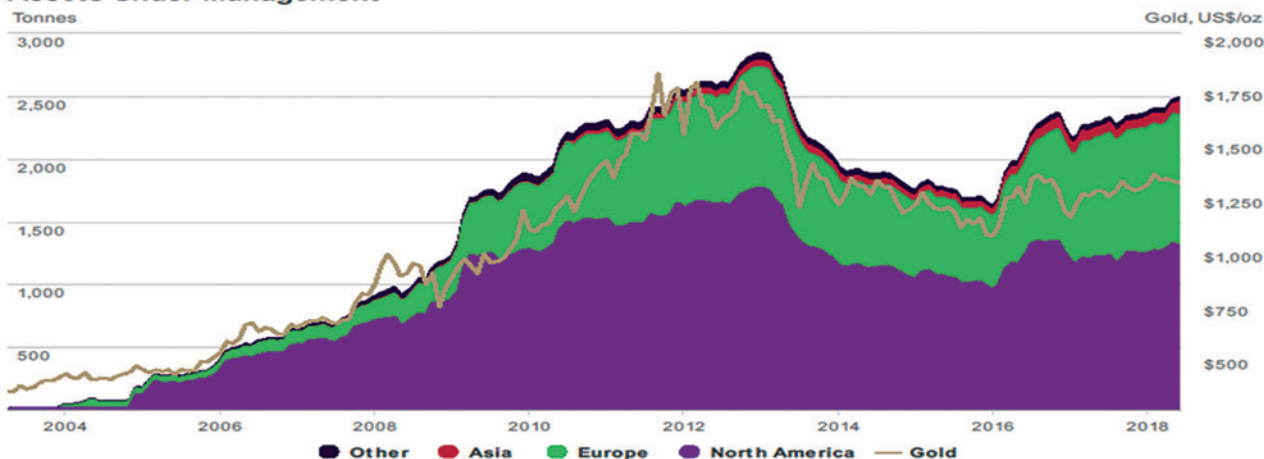


Figure 3 : Évolution de la répartition géographique et du cumul du tonnage d'or physique gageant les ETFs/ETCs.

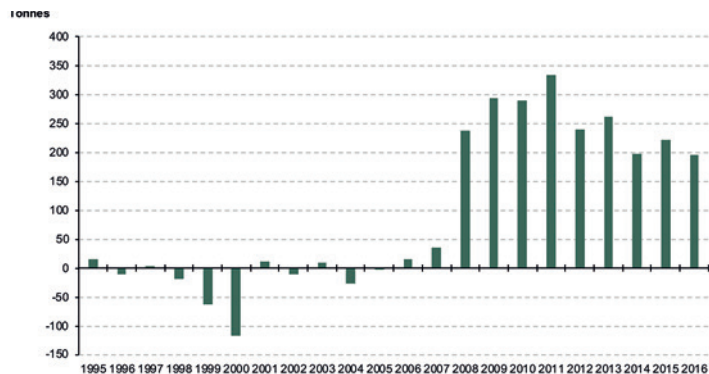


Figure 5 : Demande européenne pour les pièces et lingots en volume.
Sources : *Metals Focus ; GFMS, Thomson Reuters ; World Gold Council.*

Après 2012, la demande d'or physique s'est contractée. Une contraction vis-à-vis de laquelle le marché a fait preuve de résilience puisque, bon an, mal an, si l'on se réfère à la moyenne des cinq dernières années, cette demande tourne toujours autour des 1 000 tonnes d'or.

Contrairement à elle, tous les voisins européens de la France sont très actifs sur le marché de l'or investissement (ainsi le marché allemand de l'or pèse 120 tonnes contre seulement 9 en France⁽²⁾) et ne taxent pas les ventes d'or réalisées sous la forme de pièces, de lingotins ou de lingots (c'est le cas notamment de la Belgique), sauf si elles sont réalisées dans les six mois après l'acquisition (au Luxembourg) ou au cours de l'année de celle-ci (en Allemagne) : il y a là un risque de sortie de capitaux de la part de particuliers peu scrupuleux qui passent les frontières pour aller vendre leurs lingots ou leurs pièces d'or dans des pays dont la politique fiscale est nettement plus conciliante et dépenser sur place le produit de leurs cessions.

Pays de l'UE (hors Suisse)	Imposition	Taxation forfaitaire	Barème IR Taux marginal	Plus-value	Commentaires
France	Oui	11,5 %		* Sur option - 36,2 %	* Exonéré après 22 ans
Belgique	Non				Pas d'imposition sur les plus-values
Allemagne	Non sauf*			* Si revente dans l'année	
Luxembourg	Non sauf*			* Si revente dans les six mois	*

Tableau 2 : Tableau comparatif de la fiscalité sur l'or appliquée dans différents pays de l'Union européenne (principaux marchés actifs aux frontières de la France).

Comment dynamiser et mobiliser l'épargne or des particuliers ?

Un paradoxe très français

Les Français ont toujours figuré dans le peloton de tête des champions de l'épargne en Europe : ils restent les deuxièmes « fournis » avec un taux d'épargne de 14 %, contre 17 % pour les Allemands et seulement 4 % pour

les Britanniques. Mais chose nouvelle, les Français déposent de moins en moins leur argent sur des livrets A, sur des assurances vie ou autres produits d'épargne : ils déposent aujourd'hui leurs économies sur leur compte courant (430 milliards d'euros en 2017). En y ajoutant les 84 milliards d'euros figés par l'effet de la TFMP, le bas de laine de l'épargne totale des Français représentait 514 milliards d'euros au titre de cette même année 2017.

D'un côté, les Français n'ont jamais eu autant d'« argent dormant » et donc non productif, de l'autre, l'économie française n'a jamais eu autant besoin de financement, et ce dans tous les secteurs : agriculture, TPE/PME, start-ups, innovation, santé. Ce besoin en investissement de l'économie est tel que l'État ne peut seul y répondre, et ce même en cédant certains de ses actifs.

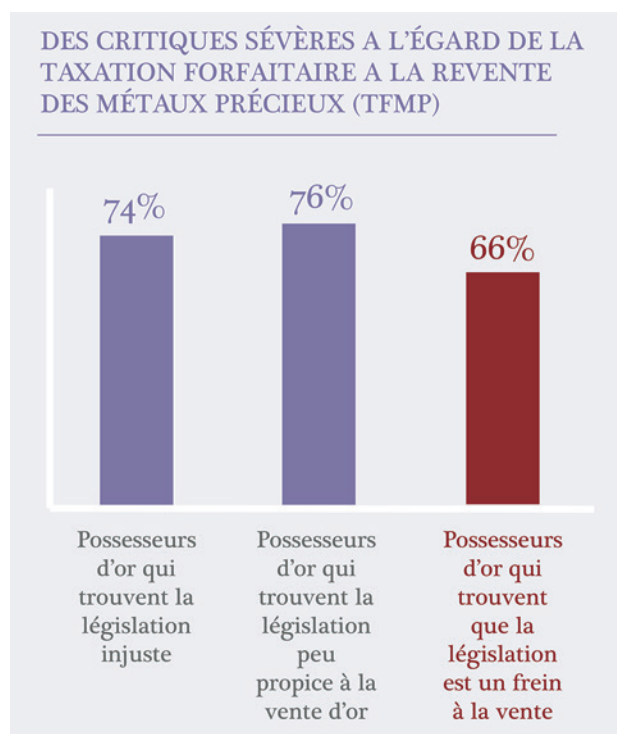


Figure 6.

Les éléments susceptibles de libérer le bas de laine

Selon une enquête réalisée en 2014 par Ipsos pour CPoR Devises, « Les Français et l'or », 50 % des particuliers détenteurs d'or se déclarent prêts à vendre celui-ci en cas d'évolution favorable de la fiscalité ; 8 % précisent qu'ils vendraient « certainement » leur or, si la taxe (TFMP) évoluait – dans le sens d'une harmonisation – à la baisse (par exemple, un alignement sur le régime de taxation des bijoux, à 6,5 %, avec une franchise de 5 000 euros) ou pour saisir toute autre opportunité qui, elle aussi, irait dans un sens favorable, comme une exonération tempo-

(2) Moyenne du solde net entre achats et ventes réalisés au cours des six dernières années (sources : *Metals Focus, GFMS, Thomson Reuters, World Gold Council*).

Estimation selon taux de TFMP	TFMP 2018 à 11 %	TFMP Bijoux à 6 %	Exonération de TFMP (12 mois)
Total des ventes d'or (en euro)	700 millions	8,4 milliards	2,625 milliards
TFMP	70 millions	504 millions	
CRDS (à 5 %)	3,5 millions	42 millions	13 millions

Tableau 3 : Tableau des simulations des recettes en cas d'harmonisation à la baisse ou d'exonération temporaire de la TFMP.

raire de la taxe en contrepartie d'un effort d'investissement – bien qu'une telle mesure inciterait moins de détenteurs à vendre qu'une baisse de la taxe (voir le Tableau ci-dessus).

Deux propositions et les bénéfices à en attendre pour l'économie

Considérons tout d'abord la proposition suivante : une exonération temporaire d'un an de la TFMP (exceptée la CRDS de 0,5 %) pour les détenteurs d'or à la condition expresse que ceux-ci reversent tout le produit de la vente *via* les collecteurs professionnels, notamment bancaires⁽³⁾, avec un fléchage, par exemple, vers des produits servant au financement des entreprises ou au développement de l'agriculture.

Dans l'hypothèse d'une libération de 2,5 % du montant total du bas de laine or des Français (comme celle retenue dans les amendements n°379 et 380 déposés par Mme Bernadette Laclais, députée de la Savoie, lors du PLFR 2016), il serait alors possible d'injecter au minimum 75 tonnes d'or sur le marché, soit 2,625 milliards d'euros dans le financement de l'économie, dont 13 millions au titre de la CRDS.

Une telle contribution de l'or à l'effort national engagé en faveur de la reprise économique si elle intervenait rappellerait les grandes campagnes du XX^e siècle appelant les Français à se séparer de leur or pour soutenir les efforts de guerre. Il s'agit aujourd'hui de mobiliser l'épargne d'or figée des particuliers pour soutenir l'effort de redresse-

ment dans le cadre de la « guerre économique ».

Considérons maintenant la proposition suivante : un alignement du taux de la TFMP sur celui de la taxe sur les bijoux. Une vente de 8 % de l'or thésaurisé par les particuliers conduirait à libérer 240 tonnes d'or, soit l'équivalent de 8,4 milliards d'euros susceptibles d'être injectés dans l'économie française, sans oublier un montant remarquable de 546 millions d'euros correspondant au produit de la taxe forfaitaire (dont 42 millions d'euros au titre de la CRDS).

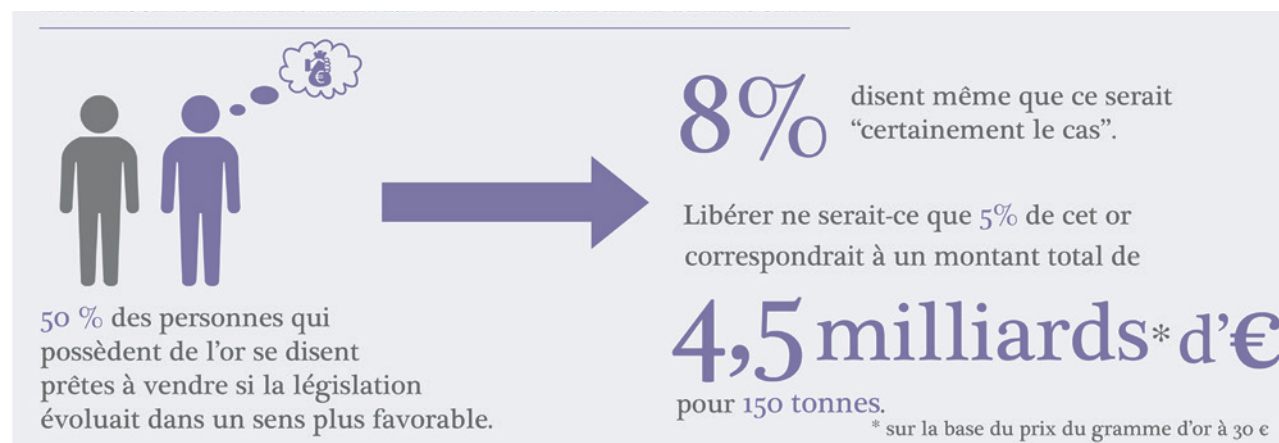
Pour conclure, nous soulignerons le fait que l'Inde et la Turquie sont déjà à la manœuvre pour mobiliser le bas de laine or très conséquent de leurs citoyens.

Bibliographie

CPoR Devises (2018), « La place de l'or dans l'épargne des Français et les moyens pour la mobiliser », Paris, juillet.

SIOU B., MARCK B. & CHAUMONT J. (1982), « L'or, valeurs, placements, bijoux... », Intergold/Nathan.

(3) La traçabilité des opérations a été rendue possible par l'instauration de l'interdiction du paiement en espèces, dès le premier euro, des achats faits par les professionnels auprès des particuliers et par l'obligation faite aux opérateurs de déclarer annuellement tous leurs achats d'or réalisés auprès des particuliers avec mention de l'identité du vendeur, deux mesures qui sont entrées en vigueur respectivement en 2011 et en 2013.



Enquête IPSOS pour CPoR Devises « Les Français, l'achat et la vente d'or » - Mai 2014.

Figure 7.

HOANG T. H. V. (2010), « Le marché parisien de l'or de 1941 à 2009 : histoire et finance », École doctorale des sciences de l'homme et de la société, Université d'Orléans.

BRUNNEL D. (2015), *La Banque de France dans la Grande Guerre*, Le Cherche Midi.

CHENG A. & KLAPWIJK P. (2001), "Retail gold investment and private investor stocks-A review", World Gold Council/Gold Fields Mineral Services.

GOPAUL K., HEWITT A. & STREET L. (2017), "Germany's golden decade", World Gold Council.

IPSOS (2014), « Les Français, l'achat et la vente d'or », une enquête Ipsos/Steria pour CPoR Devises.

JACQUE M. (2016), « L'Inde à l'offensive pour réduire ses achats massifs d'or », *Les Échos*.

JACQUE M. (2016), « Ankara veut vider les bas de laine des épargnants », *Les Échos*.

Sites Internet : www.gold.org ; www.metalsfocus.com ; www.cpordevises.com

Exotisme des pièces d'or et gouvernance des systèmes monétaires

Par Vincent BIGNON*
Banque de France

L'or a été monnayé sur pratiquement tous les continents, sauf en Asie où l'argent a traditionnellement dominé. Ce qui frappe dans l'analyse des systèmes monétaires métalliques, c'est la similitude avec les problèmes auxquels les systèmes de monnaies fiduciaires ont dû faire face. Car en matière d'histoire monétaire, il n'y a pas de flèche du temps : les économies française et allemande ont connu des épisodes hyper-inflationnistes au Moyen Âge ou pendant la Renaissance, des guerres monétaires ayant été menées entre souverains. La gouvernance des systèmes de monnaies métalliques est donc tout aussi cruciale que dans les systèmes de monnaies fiduciaires. Cet article résume ce que nous savons de l'origine du monnayage d'or, puis revient sur les discours légitimant ce choix. Enfin, il souligne le fait que l'importance de la gouvernance des systèmes de monnayage fondés sur l'or a été cruciale.

Toute monnaie est comme Janus, elle a deux faces : celle du souverain et celle du marchand. La face souveraine vient de ce que pratiquement tous les systèmes monétaires ont reposé sur un moyen de paiement émis par une autorité politique (AGLIETTA et ORLÉAN, 1998). Il y a bien sûr quelques cas dans lesquels des monnaies ont émergé sans le soutien d'autorité, par exemple la cigarette en Allemagne, entre 1945 et 1948⁽¹⁾. Ces périodes de pluralités monétaires durent le temps de la crise politique qui les a vues naître. La face marchande est liée à l'utilisation de la monnaie dans les paiements quotidiens et dans le remboursement des dettes. C'est ici que la politique monétaire doit faire un choix entre maintenir la valeur de la monnaie pour faciliter les paiements et générer de l'inflation pour alléger le poids de la dette.

Le monnayage d'or mais également les systèmes d'étalon-or n'échappent pas à cette dualité : ils peuvent être détruits par une crise politique et, comme aujourd'hui, les difficultés technologiques, légales ou politiques contraignent toute politique d'émission visant à assurer la disponibilité de moyens de paiement qui soient suffisants en quantité et uniformes en qualité⁽²⁾.

L'invention de la monnaie

Si l'invention d'une unité de compte est primordiale pour l'organisation des échanges dans les sociétés sédentaires, ce n'est pas le cas de l'invention d'un intermédiaire général des échanges libérant les agents de leurs obligations

contractuelles. La naissance de la monnaie a été assez tardive comparée à celle de l'agriculture ou de la finance. La finance naît à Babylone, dix-huit siècles avant notre ère, avec l'invention des contrats de vente à terme ; certains ont d'ailleurs argumenté que l'invention de l'écriture en - 3200 vient de la nécessité d'enregistrer les contrats de dettes sur des tablettes d'argile (SCHMANDT-BESSERAT, 2012). La première pièce a été frappée en Asie Mineure entre - 630 et - 580 avant J.C., à partir d'un alliage d'or et d'argent, l'électrum, qui était naturellement disponible dans le Pactole, le fleuve qui coulait à travers le royaume de Lydie, alors gouverné par Crésus (LE RIDER, 2002).

À l'époque, les monnaies d'électrum ne viennent pas en substitution au troc, elles s'insèrent dans des économies échangeant au travers de systèmes complexes de crédit. Dans ces systèmes juridiquement très développés, l'enregis-

* Je remercie Christian Pfister, dont les remarques ont permis d'améliorer substantiellement le texte. Je reste seul responsable d'inexactitudes éventuelles. Cet article est le reflet de mes opinions personnelles, qui ne doivent en aucun cas être interprétées comme celles de la Banque de France ou de l'Eurosystème.

(1) Voir BIGNON (2004) pour une discussion sur la monnaie cigarette. Certains économistes comme Stanley Jevons ont argumenté le fait que les échanges de coquillages dans les rituels de mariage des sociétés primitives s'apparentaient à un échange marchand, mais aucun anthropologue n'est encore venu confirmer ces allégations, voir GRAEBER (2011).

(2) Voir AUBERT et PFISTER (2018) pour une histoire de la solution apportée dès le XIX^e siècle à ce problème.

trement des dettes déconnectaient l'échange du règlement. Les contrats étaient enregistrés, souvent par des clercs indépendants vis-à-vis du souverain, et seule une partie de la dette était réglée par le débiteur. Ainsi, à Babylone, où le crédit est la règle, le code d'Hammurabi est dur avec les débiteurs faisant défaut, le solde résultant de la compensation des dettes se faisait par transfert de propriété au profit du créancier de marchandises variées, par exemple, à Babylone, des morceaux de lingots ou des têtes de bétail.

L'introduction de la monnaie et l'affaiblissement concomitant du système d'enregistrement des dettes introduisent un risque de liquidité dans l'économie en forçant les agents à détenir des moyens de paiement préalablement à l'échange. Mais cela permet au souverain de faire varier la taxation en fonction de la richesse monétaire des agents, et donc d'augmenter le rendement de l'impôt (ARAUJO *et al.*, 2016).

Pour se convaincre que la création de la monnaie est avant tout une invention politique adéquate à certaines sociétés seulement, il suffit d'observer que le monnayage ne va se disséminer que très lentement entre les sociétés antiques. Si les colonies grecques d'Asie Mineure, puis la Grèce elle-même, ont été promptes à frapper des espèces – parfois pour des raisons de contestation de l'aristocratie (KURKE, 1999) –, il faut attendre Darius II pour que la monnaie soit introduite en Perse et la colonisation grecque de l'Égypte par Alexandre le Grand pour que les premières pièces y soient frappées. À chaque fois, l'introduction du monnayage est associée soit à une réforme du système de collecte de l'impôt, soit à l'introduction de nouveaux impôts (HOWGEGO, 1995).

L'histoire de l'or en tant que monnaie ne correspond donc pas nécessairement au mythe de l'émergence spontanée d'une monnaie sur laquelle tous s'accorderaient.

La controverse sur l'origine de la monnaie

Les économistes s'opposent sur quand et pourquoi la monnaie a été créée. La controverse porte sur deux dimensions.

La première dimension discute de savoir si l'introduction de la monnaie frappée a constitué une rupture historique au même titre que l'a été l'agriculture. L'opposition est entre ceux qui défendent l'idée que les pièces sont allogènes au système de paiement des sociétés antiques et ceux qui les voient comme la solution apportée par le souverain aux difficultés de payer au moyen de morceaux de lingots non standardisés.

Les tenants de la première vision soulignent la rupture historique que constitue l'introduction d'un moyen de paiement en tant qu'instrument de taxation, alors que l'utilisation de morceaux de métal en paiement n'était qu'une des modalités de règlement des dettes avec du capital (GRAEBER, 2011).

Les tenants de la deuxième vision soulignent le fait que les morceaux de lingots ou le bétail étaient des instruments monétaires et en concluent que la frappe des pièces de

poinds et de taille standardisés est alors une invention mineure visant à réduire les coûts de reconnaissance et de vérification par rapport aux morceaux de lingots (MENGER, 1909). Cependant, si les pièces frappées avaient bien plusieurs dénominations et donc généraient des économies en termes de coûts de pesée (VELDE, 2014), elles étaient faites d'un alliage difficile à évaluer dans l'échange, puisque la vérification de leur titre requerrait leur fonte.

La deuxième dimension d'opposition est le récit qui est narré pour expliquer le choix de l'or comme monnaie. Le premier récit insiste sur le caractère spontané de ce choix, soulignant les qualités intrinsèques de l'or, notamment sa portabilité et sa divisibilité (MENGER, 1909). Le deuxième discours explique la sélection de l'or en raison des vertus sacrées qui lui étaient attribuées dans ces sociétés.

Ces deux récits coexistent, car ils recouvrent des enjeux d'économie politique différents.

Le discours qui situe la monnaie dans le gouvernement des hommes explique que toute société a besoin d'un moyen de paiement pouvant être créé à la demande. Les motivations des souverains ont historiquement varié : elles ont pu être aussi diverses que le financement des guerres antiques (HOWGEGO, 1995), la création d'un moyen de paiement homogène en termes de qualité dans les cités d'Europe moderne (GILARD, 2004), la possibilité du prêt en dernier ressort pendant les crises en Europe contemporaine (THORNTON, 1800) ou le financement de l'économie (KNAPP, 1905).

Le discours sur les qualités intrinsèques de la monnaie a été tenu initialement au XVIII^e siècle pour légitimer l'indépendance de la monnaie vis-à-vis du souverain. La période était aux manipulations monétaires (SARGENT et VELDE, 2002). En forgeant l'idée que la monnaie était la solution naturellement trouvée par les agents privés en réponse aux difficultés du troc, ce discours créait une nouvelle utopie, celle selon laquelle le souverain n'était pas nécessaire au fait monétaire.

Ce discours de l'autonomie de la monnaie par rapport au politique a été élaboré en partie en Angleterre. Comme souvent avec les discours économiques, il ne s'agit pas d'un discours traduisant un diagnostic de la situation monétaire anglaise au XVIII^e siècle. En ces temps, la stabilité monétaire y régnait, suite à la création de la Banque d'Angleterre en 1696 et à la restructuration par Isaac Newton des règles et procédures de la frappe des monnaies à la Tour de Londres. Cet ordre monétaire était de plus soutenu par un ordre politique recherchant la stabilité monétaire. Repris par Adam Smith en 1776 dans son ouvrage *La Richesse des nations*, le discours de l'indépendance est en revanche une réaction aux désordres monétaires du XVII^e siècle anglais (GLASSMAN et REDISH, 1988). Il est concomitant des manipulations monétaires ayant cours alors en Autriche, en Espagne ou en France (REDISH, 2000). La fable du troc est donc avant tout une fable soulignant l'importance qu'il y a à libérer la monnaie de l'arbitraire de Trésors confrontés au problème du financement de guerres incessantes.



Photo © Domingie & Rabatti / LA COLLECTION

Frappe du premier florin d'or, en 1252, à Florence (Italie).

« Le bon fonctionnement d'un système de paiement repose en effet sur l'établissement d'une gouvernance empêchant les manipulations monétaires (pour éviter les hyperinflations) et assurant une qualité homogène des moyens de paiement (pour faciliter les transactions). »

Plus ça change et moins ça bouge : la permanence des systèmes monétaires

En matière monétaire, il n'y a pas de flèche du temps. Le bon fonctionnement d'un système de paiement repose en effet sur l'établissement d'une gouvernance empêchant les manipulations monétaires (pour éviter les hyperinflations) et assurant une qualité homogène des moyens de paiement (pour faciliter les transactions). Éviter le premier danger requiert une indépendance des autorités monétaires par rapport au politique. Éviter le deuxième danger implique une gouvernance appropriée des procédures d'émission monétaire. La frappe de la monnaie en or n'évite aucun de ces désagréments, pas plus que la nécessité de définir une politique d'émission de la monnaie. Elle les rend seulement plus exotiques à nos yeux.

L'inflation, et parfois même l'hyperinflation, sont des phénomènes connus et presque habituels dans les systèmes métalliques. La recension faite par l'ouvrage *La Monnaie dévoilée par ses crises*, édité par Bruno Théret en 2007, de la diversité et du nombre des crises monétaires ayant affecté les systèmes métalliques est des plus éclairantes. On y lit, dans le chapitre de Jean-Michel Carrié, la description d'un siècle d'inflation à Rome, une inflation liée à la baisse de la qualité des alliages et à la réduction de la taille des pièces.

Au Moyen Âge, les années 1000 furent, dans un contexte d'affaiblissement du pouvoir royal et de montée de celui des seigneurs, synonymes d'une période d'inflation soutenue, du fait de la baisse de la qualité des pièces et de fortes variations géographiques de leur qualité (BISSON,

1979). Pendant la guerre de Cent Ans, les années 1415 à 1422 furent des années d'hyperinflation (SUSSMAN, 1993). Le pouvoir royal, affaibli, a recours à la taxe inflationniste. La mécanique est similaire pendant la guerre de Trente Ans, en Allemagne (SCHNABEL et SHIN, 2018). À chaque fois, le rétablissement de l'ordre monétaire a été immédiat, à partir du moment où le souverain n'a plus eu besoin de manipuler la valeur de la monnaie.

La permanence des dangers qui menacent la monnaie est une constante historique. Ils sont liés au fait que le système monétaire métallique est fondé, tout comme les systèmes contemporains, sur une gouvernance des institutions d'émission de la monnaie assurant ainsi la crédibilité de leur politique d'émission, ce qui conduit les agents économiques à ne pas en questionner la légitimité. Les ateliers de frappe bénéficient d'une indépendance opérationnelle garantissant de l'absence de manipulation des procédés de fabrication, tandis que l'inspection régulière de ces différents ateliers assure l'homogénéisation de la production sur le territoire (GANDAL et SUSSMAN, 1997).

Les troubles monétaires furent également liés à la technologie utilisée pour battre monnaie. Le choix de frapper l'or n'est pas naturel : c'est un métal fragile, s'usant facilement par frottement et dont la qualité de l'alliage est difficile à détecter au premier abord. À partir du XVII^e siècle, la mécanisation de la frappe a permis d'uniformiser la qualité des pièces et d'en produire de plus petite taille (SARGENT et VELDE, 2002). Mais la valeur intrinsèque associée à la monnaie et les coûts de frappe ont fait que l'état normal du stock de pièces a toujours été de qualité très variable, ce qui a rendu plus difficile les échanges et facilité la contrefaçon (MUNRO, 2012). La politique monétaire

consistait alors à inciter les détenteurs de pièces à payer avec celles-ci, et ainsi à se débarrasser de leurs espèces usées ; l'époque se caractérise par la très grande diversité des millésimes de pièces (BIGNON et BRETON, 2012). Ce retrait de pièces fait que chaque millésime devient unique, ce qui facilite leur identification lors des paiements.

Dès la Renaissance, les banques centrales sont venues supprimer certains autres désagréments causés par le monnayage des métaux. Leur création a permis de centraliser la gestion de la qualité des moyens de paiement en circulation (UGOLINI, 2017). Les coûts de l'uniformisation nécessaire pour assurer cette qualité ont progressivement été supportés par les banques centrales. Par ailleurs, alors que le crédit a toujours coexisté avec les espèces, les banques centrales ont permis de faire face aux crises de confiance ayant affecté le crédit, en donnant à la masse monétaire l'élasticité nécessaire pour assurer en temps de crise l'échange de dettes contre un moyen de paiement qui pouvait être produit à la demande, le billet de banque.

Pour conclure, au-delà de l'exotisme que recouvre l'énumération des troubles monétaires de l'or et des mythes liés au paiement en pièces d'or, le monnayage d'or a dû faire face aux mêmes problèmes et aux mêmes enjeux que les systèmes monétaires contemporains. La solution a été, comme aujourd'hui, la confiance dans les autorités d'émission permise par le respect de la séparation des pouvoirs.

Bibliographie

- AGLIETTA M. & ORLÉAN A. (1998), *La Monnaie souveraine*, Paris, Odile Jacob.
- ARAUJO L., BIGNON V., BRETON R. & CAMARGO B. (2016), *On the Origin of Money*, Mimeo.
- AUBERT T. & PFISTER C. (2018), « De l'or monétaire à l'or financier », article publié dans le présent numéro de *Réalités Industrielles – Les Annales des Mines*.
- BIGNON V. (2004), « Une théorie de l'élection de la cigarette comme monnaie », *Revue économique* 55(3), pp. 383-393.
- BIGNON V. & BRETON R. (2012), *Monetary Policy Before Central Banking*, Mimeo.
- BISSON T. (1979), *Conservation of coinage*, Oxford, Oxford university Press.
- GANDAL N. & SUSSMAN N. (1997), "Asymmetric Information and Commodity Money: Tickling the Tolerance in Medieval France", *Journal of Money, Credit and Banking* 29(4), pp. 440-457.
- GILARD L. (2004), *La Banque d'Amsterdam*, Paris, Éditions de l'EHESS.
- GLASSMAN D. & REDISH A. (1988), "Currency depreciation in early modern England and France", *Explorations in Economic History* 50, pp. 789-805.
- GRAEBER D. (2011), *Dette, 5 000 ans d'histoire*, Londres, Melville House Publishing.
- HOWGEGO C. (1995), *Ancient History from Coins*, New York, Routledge.
- KNAPP G. F. (1905), *Staatliche Theorie des Geldes*, Leipzig, Duncker & Humblot.
- KURKE L. (1999), *Coins, Bodies, Games and Gold*, Princeton, Princeton University Press.
- LE RIDER G. (2002), *L'Invention de la monnaie*, Paris, PUF.
- MENGER C. (1909), *Money*, in LATZER M. & SCHMITZ S. W. (eds) (2002): 25-108, translation of Geld published in *Handwörterbuch der Staatswissenschaften*, Jena.
- MUNRO J. (2012), *Money in the Pre-industrial World*, Londres, Pickering and Chatto.
- REDISH A. (2000), *Bimetallism: An Economic and Historical Analysis*, Cambridge, Cambridge University Press.
- SCHMANDT-BESSERAT D. (1992), *Before Writing, from Counting to Cuneiform*, Austin, UT press.
- SARGENT T. & VELDE F. (2002), *The Big Problem of Small Changes*, Princeton, Princeton University Press.
- SCHNABEL I. & SHIN H. S. (2018), "Money and trust: lessons from the 1620s for money in the digital age", Document de travail BRI 698.
- SUSSMAN N. (1993), "Debasements, Royal Revenues, and Inflation in France During the Hundred Years' War, 1415-1422", *Journal of Economic History* 53(1), pp. 44-70.
- THORNTON H. (1800), *An Enquiry into the Nature and Effects of the Paper Credit of Great Britain*, London, Hatchard.
- UGOLINI S. (2017), *The Evolution of Central Banking*, Londres, Palgrave.

De l'or monétaire à l'or financier

Par Tanguy AUBERT
et Christian PFISTER ⁽¹⁾

Banque de France, direction générale des Statistiques

L'or a vu son rôle d'actif monétaire s'effacer progressivement, d'abord dans les transactions, puis dans l'organisation du système monétaire international, au point de disparaître en 1973. Du point de vue du public, il peut toutefois encore jouer un rôle en tant qu'actif financier, en fournissant une protection contre l'inflation sur la très longue période et en tant que valeur refuge lors de crises au niveau mondial, mais pas forcément au niveau régional.

Depuis sa mise en exploitation, l'or a toujours constitué une matière première pour la confection d'objets, notamment de parures. Dès l'Antiquité, il est utilisé dans les transactions et pour la constitution de trésors. Cependant, ce n'est qu'à partir du XVII^e siècle et de l'organisation des paiements autour des banques centrales (la première d'entre elles, la Banque de Suède – Sveriges Riksbank – est créée en 1668) que l'or est placé au centre de véritables systèmes monétaires ⁽²⁾. Partant du constat d'un effacement progressif du rôle de l'or en tant qu'actif monétaire, en France et dans le monde, et se plaçant du point de vue du public, cet article s'interroge sur le rôle que l'or peut encore jouer en tant qu'actif financier.

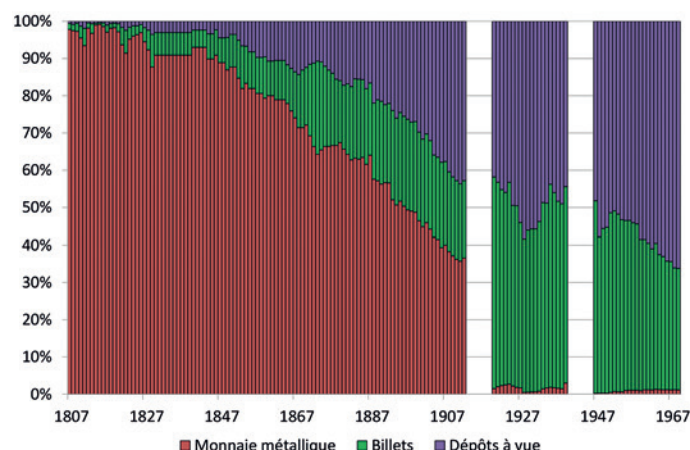
L'effacement de l'or en tant qu'actif monétaire

Dans les transactions, tout d'abord au niveau international, puis au niveau national, l'or a cessé de représenter un actif monétaire significatif dès la Première Guerre mondiale. Il a néanmoins continué à jouer un rôle important dans l'organisation du système monétaire international, plus précisément dans celle du système de change, du moins jusqu'en 1973.

L'utilisation de l'or dans les transactions ⁽³⁾

L'exemple pris ici est celui de la France. Durant la première moitié du XIX^e siècle, la monnaie métallique, c'est-à-dire principalement l'or, constitue l'essentiel de la masse monétaire au sens étroit (M1), elle est utilisée dans les transactions ⁽⁴⁾. En 1847, la monnaie métallique représente 89 % de cette masse, contre 7 % pour les billets et 4 % pour les dépôts à vue (voir le Graphique 1 ci-contre). Sous la II^e puis la III^e République, ces deux derniers actifs monétaires, plus particulièrement le second, se développent rapidement, au point qu'en 1912, ils représentent respectivement 21 et 43 % de M1, contre seulement 37 % pour la monnaie métallique. Avec l'instauration du cours forcé lors de la Première Guerre mondiale, transitoirement levé entre 1928 et 1936, et définitivement adopté en 1936, le système d'étalon-or prend fin. Après la Seconde Guerre

mondiale, l'or cesse de jouer un rôle dans les transactions, au profit tout d'abord du billet puis des dépôts à vue, tandis que les monnaies d'appoint en cuivre, en bronze, en cupronickel et en aluminium représentent la totalité de la monnaie métallique en France.



Graphique 1 : Composition de la masse monétaire M1 en France (encours en %) de 1807 à 1970 (Source : SAINT-MARC Michèle, *Histoire monétaire de la France 1800-1980*, Presses universitaires).

(1) Les vues exprimées dans cet article sont celles des auteurs et n'engagent nullement la Banque de France ou l'Eurosysteme. Nous remercions Vincent Bignon et Alain Duchateau pour leurs remarques et restons seuls responsables d'éventuelles erreurs.

(2) BIGNON V. (2018), « Exotisme des pièces d'or et gouvernance des systèmes monétaires », article publié dans ce numéro de *Réalités Industrielles*, série de *Les Annales des Mines*.

(3) Les données utilisées sont issues de SAINT-MARC M. (1983), *Histoire monétaire de la France 1800-1980*, Presses Universitaires de France.

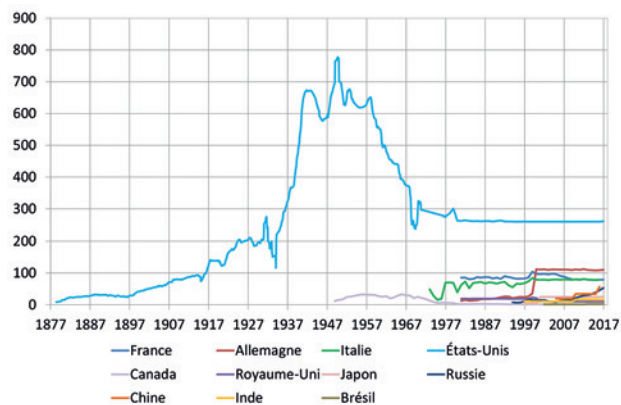
(4) La part des pièces d'or dans la monnaie métallique en circulation est estimée à 82 % en 1847 et à 92 % en 1909, avec une montée progressive de cette part entre ces deux dates. SICSIC P. (1989), « Estimation du stock de monnaie métallique en France à la fin du XIX^e siècle », *Revue économique* 40(4), pp. 709-736. Il est toutefois probable que les pièces d'argent, de dénomination plus faible que les pièces d'or, étaient beaucoup plus utilisées dans les transactions.

L'or dans le système monétaire international

En dépit de l'abandon de l'étalon-or, le métal jaune a continué à jouer un rôle important dans la fixation des taux de change entre les monnaies, à travers la détermination de la valeur des monnaies en poids d'or. Après la Première Guerre mondiale, la livre britannique, jusqu'en 1931, et le dollar américain, *de facto* jusqu'en 1971, *de jure* jusqu'en 1976, restent les deux seules monnaies convertibles en or, au niveau international. Ainsi, les banques centrales peuvent alors demander à la Fed la conversion des dollars qu'elles détiennent contre de l'or ; c'est le système de l'étalon de change-or. Le lien entre l'or et les changes pouvait néanmoins être à l'occasion rompu en recourant à des dévaluations, notamment lorsqu'un pays se trouvait très endetté vis-à-vis de l'extérieur ou même sur le plan interne, l'objectif étant, dans ce dernier cas, de provoquer une inflation à travers l'augmentation des prix des produits importés. Ces ajustements pouvaient d'ailleurs être de forte ampleur, comme cela s'est produit avec la dévaluation Poincaré du 25 juin 1928 (dévaluation du franc de 80 %) qui a mis fin à 125 ans de franc Germinal. Par ailleurs, de même que sous l'étalon-or, le cours forcé pouvait être imposé lors de périodes de troubles (guerres, révolutions), la convertibilité en or de la livre ou du dollar pouvait parfois être suspendue dans le cadre du système de l'étalon de change-or, notamment en préambule à des dévaluations (c'est le cas de la livre en 1931, ainsi que du dollar en 1933 et à nouveau en 1934).

En dépit de ce fonctionnement quelque peu chaotique, plus marqué après la Seconde Guerre mondiale en raison de dévaluations plus fréquentes, le système d'étalon de change-or est conservé et même renforcé à travers la création du Fonds monétaire international (FMI) par les accords de Bretton Woods du 22 juillet 1944 qui maintiennent la convertibilité du dollar en or. L'accumulation des déficits de transactions courantes des États-Unis et les demandes corrélatives des banques centrales de conversion de leurs avoirs en dollars en or conduisent toutefois à la suspension de cette dernière, le 15 août 1971, à l'adoption du régime des changes flottants, en mars 1973, et à l'abandon de tout rôle légal international pour l'or avec les accords de la Jamaïque, le 8 janvier 1976.

Pour des raisons à la fois historiques et de réputation, les banques centrales restent certes d'importantes détentrices d'or⁽⁵⁾ (plus de 33 000 tonnes à la fin de 2017, selon les statistiques financières internationales du FMI, soit environ le cinquième du stock mondial). Mais la grande stabilité du volume d'or détenu par les banques centrales, à l'exception de celles de certains pays émergents (Chine, Inde et Russie) – sans doute à la recherche d'une diversification de leurs actifs (voir *infra*) –, confirme le fait que l'or ne joue plus aujourd'hui un rôle monétaire actif (voir le Graphique 2 ci-contre). Dans les économies développées, les banques centrales n'influencent pas la base monétaire par des transactions sur le marché de l'or ; en effet, la mise en œuvre de leur politique monétaire s'effectue au moyen de transactions sur le marché monétaire et les marchés de titres⁽⁶⁾.



Graphique 2 : Détention d'or par les banques centrales (en millions d'onces). Sources : <https://fred.stlouisfed.org>, FMI.

Quelle place pour l'or en tant qu'actif financier ?

La place éventuelle de l'or comme actif financier est étudiée ici en tant qu'élément de diversification introduit dans un portefeuille initialement composé d'actions, d'un double point de vue : la protection qu'il offre contre l'inflation, d'une part ; au regard de certaines de ses caractéristiques en termes de rendement/risque, d'autre part. Le premier point de vue est davantage économique et de moyen/long terme, le second se rapporte plus aux évolutions de marché et au court terme. Afin de faire abstraction des variations de change et parce que l'or est coté en dollar, le point de vue adopté ici est celui d'un épargnant américain. En outre, le rendement des actions, évalué au travers de l'indice S&P 500⁽⁷⁾, incorpore le réinvestissement des dividendes pour tenir compte du fait que les actions procurent un revenu à la différence de l'or, à l'exception de celui, marginal et en général non accessible aux particuliers, tiré des prêts d'or⁽⁸⁾.

L'or, une protection contre l'inflation

Le système d'étalon-or permettait d'assurer un ancrage du niveau général des prix sur longue période, sans pour autant protéger son détenteur contre des pertes de pouvoir d'achat au cours de périodes où la croissance des transactions était forte ou le métal se raréfiait⁽⁹⁾. Rien ne garantit qu'il puisse assumer un rôle comparable dans un régime où il ne joue plus de rôle monétaire. Au vu de l'évolution aux États-Unis des cours de l'or en dollar déflatés par l'indice des prix à la consommation, il apparaît pourtant que cela soit le cas depuis mars 1973 : pour un indice 100 du cours de l'or corrigé des prix à cette date,

(5) AUFAUVRE N. (2018), « Le marché de l'or et les réserves des banques centrales », article publié dans ce numéro de Réalités Industrielles, série de Les Annales des Mines.

(6) DRUMETZ F., PFISTER C. & SAHUC J. G. (2015), Politique monétaire, deuxième édition, de Boeck.

(7) Compte tenu de la forte intégration des marchés d'actions au niveau mondial, l'utilisation d'indices européens, japonais ou mondiaux, lorsqu'ils sont disponibles, ne modifierait pas substantiellement les résultats de cette partie.

(8) Voir référence de la note de bas de page 4.

(9) Voir référence de la note de bas de page 2.

Périodes	Rendement nominal annualisé Or	Rendement nominal annualisé S&P500	Écart-types Or	Écart-types S&P500	Événements
De 1973-03 à 1981-12	19,2%	5,7%	0,47	0,16	Chocs pétroliers
De 1982-01 à 2000-07	-1,8%	18,4%	0,13	0,14	
De 2000-08 à 2003-03	7,4%	-15,8%	0,11	0,10	Bulle Internet
De 2003-04 à 2007-06	16,8%	17,2%	0,13	0,09	
De 2007-07 à 2010-06	23,2%	-6,8%	0,16	0,27	Crise des subprimes
De 2010-07 à 2017-12	1,3%	14,9%	0,17	0,08	
De 1973-03 à 2017-12	6,3%	10,4%	0,28	0,17	

Tableau 1 : Rendement et risque de l'or et des actions américaines.

l'indice atteint 269 en décembre 2017, soit une hausse en taux annualisé – en ne tenant donc pas compte des fluctuations intermédiaires – de 2,2 % entre le début et la fin de la période considérée (voir le Graphique 3 ci-dessous).

Il n'en reste pas moins que le placement en or reste lar-



Graphique 3 : Évolution du cours de l'or et de celui des actions américaines corrigés de l'inflation aux États-Unis, de 1973 à 2017 (Indice 1973-03 : 100).

gement dominé par celui en actions : sur la même période allant de 1973 à 2017, les actions américaines, telles qu'évaluées par l'indice S&P 500 déflaté des prix à la consommation, progressent au taux annualisé de 6,2 %. En outre, il peut se produire de longues périodes au cours desquelles le rendement réel de l'or est négatif : il en est allé ainsi au cours des vingt dernières années du XX^e siècle, où son rendement s'est établi à - 7,6 %, contre + 13,3 % pour les actions américaines (taux annualisés).

L'or comme facteur de soutien des performances d'un portefeuille

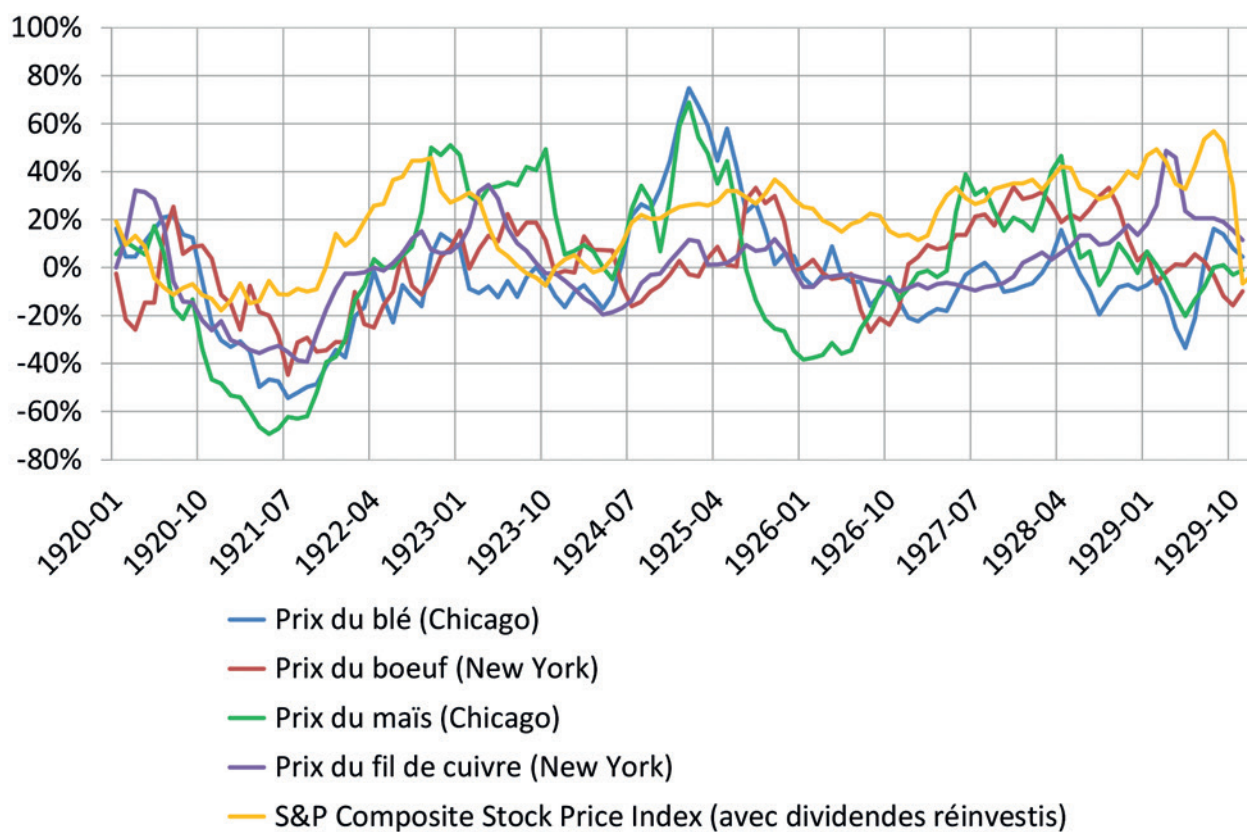
Ici, la perspective de court/moyen terme conduit à considérer les rendements annuels nominaux de placements en or et en actions, sur la base de données mensuelles ; le risque est apprécié à travers l'écart-type des rendements annuels. Sur l'ensemble de la période allant de mars 1973 à décembre 2017, la corrélation de ces rendements est négative (- 15 %), justifiant *a priori* l'introduction d'une composante or dans un portefeuille initialement composé exclusivement d'actions. L'or est cependant pénalisé par

un rendement plus faible, comme indiqué plus haut à propos des rendements réels (le rendement nominal annualisé est de 6,3 % pour l'or et de 10,4 % pour les actions), et par un écart-type du rendement qui est plus élevé (0,28 pour l'or et 0,17 pour les actions) (voir le Tableau 1 ci-dessus).

Deux faits stylisés ressortent du Tableau 1 :

- L'or joue le rôle de valeur refuge lors des crises mondiales. Entre mars 1973 et décembre 1982, soit à l'époque des deux chocs pétroliers, le rendement annualisé de l'or est de 19,2 % contre 5,7 % pour les actions américaines, avec toutefois une forte volatilité des cours de l'or (un écart-type de 0,47, contre 0,16 pour les actions), dont le marché, il est vrai, venait à l'époque d'être libéralisé. De même, à la suite de l'éclatement de la bulle sur les valeurs technologiques, les cours de l'or progressent, alors que ceux des actions américaines s'effondrent (les rendements annualisés du S&P 500 sont respectivement de 7,4 % et de - 15,8 %, entre août 2000 et mars 2003). Enfin, la crise financière mondiale, entre la mi-2007 et la mi-2010, voit la répétition de ce dernier scénario : les rendements annualisés respectifs des deux catégories d'actifs considérées s'établissent à 23,2 % pour l'or et à - 6,8 % pour les actions américaines. Les périodes au cours desquelles l'or sert de valeur refuge sont en général suivies d'ajustements allant en sens opposé, de durée plus longue, permettant ainsi de rétablir la hiérarchie des rendements déjà observée, laquelle est favorable aux actions. La période d'avril 2003 à juin 2007 fait exception, avec pour l'or et les actions américaines des rendements annualisés comparables, pour une volatilité légèrement plus élevée dans le cas de l'or. Cependant, il s'agit d'une période de fin de boom, au cours de laquelle les prix des minerais et autres matières premières progressent rapidement, de même que les cours des actions, et qui peut ainsi se comparer aux « années folles » qui ont précédé le krach de 1929 et la Grande Dépression (voir le Graphique 4 de la page suivante⁽¹⁰⁾).

(10) Pour les actions, c'est l'indice S&P Composite Stock Price Index des actions américaines avec dividendes réinvestis, mis au point par Robert Shiller, qui est utilisé : SHILLER R. (2000), *Irrational Exuberance*, Princeton University Press.



Graphique 4 : Cours des actions américaines et des matières premières dans les années 1920 (taux de croissance annuels).
 Source : <https://fred.stlouisfed.org>

• Un choc régional, même de grande ampleur comme l'a été la crise de la dette souveraine en zone Euro, ne permet pas forcément à l'or de servir de valeur refuge. Ainsi, entre janvier 2011 et décembre 2013, le rendement annualisé

de l'or est de - 3,2 % en dollar et de - 4 % en euro, compte tenu d'une légère appréciation de l'euro au cours de la période, contre + 1,2 % pour l'Euro Stoxx 50.

The retreat from systemic risk regulation: what explains it? (and why it was predictable)

By John C. COFFEE, Jr.

Adolf A. Berle Professor of Law at Columbia University Law School and Director of its Center on Corporate Governance

Financial crises usually trigger a predictable cycle: first, a populist outburst that produces dramatic legislative and regulatory changes and, then, a slower counter-reaction as the financial industry gradually subjects the new reforms to a death by a thousand cuts, often with the result that little remains. This cycle – here called the “Regulatory Sine Curve” – can be traced back to the South Sea Bubble in 1720. In the aftermath of 2008, this cycle seems to be again in progress in the United States, as many of the Dodd-Frank Act’s reforms have either gone unimplemented or have been partially repealed. But the same cycle does not appear to be occurring in Europe. This brief essay analyzes these differing responses and seeks to explain why Europe seems better insulated against counter-reaction.

Introduction

The 10th anniversary of anything (even a financial crisis) usually presents an opportunity for celebration. Regulators will recall how they redesigned policies to foil the “bad guys”, to protect victims, and to prevent future crises. Enforcement victories will be recalled (with more than a hint of self-satisfaction), and legislators will proclaim their courageous opposition to “special interests”. The problem with such a self-congratulatory retelling of the decade since the financial crisis of 2008 is that it would be largely fictional. Yes, to be sure, there was a prompt response in the U.S., and the Dodd-Frank Act of 2010 did address most of the critical gaps in U.S. financial regulation⁽¹⁾. Even if it was imperfect (as human efforts usually are), it contained important reforms, such as the Volcker rule, curbs on incentive compensation, special rules for “Systemically Important Financial Institutions” (or “SIFIs”), and the Consumer Financial Protection Bureau (or “CFPB”)⁽²⁾.

But unfortunately one cannot stop the story at this point. Since 2012 and the passage of the JOBS Act, regulatory and legislative movement in the United States has been almost entirely in the direction of deregulation. So far, this has involved repeal of some provisions of the Dodd-Frank Act, the relaxation of many rules adopted by federal regulators (including the Volcker Rule), the dismantling or muting of some agencies (most notably the CFPB), and a sharp reduction in enforcement directed at public companies by the SEC. The old practices that caused or contri-

buted to the 2008 crisis are resurfacing: complex securitizations are re-appearing; the repo market is heating up; “interest only” mortgage loans (on which no amortization of principal is charged) have returned; and banks are actively trading securities-based swaps through unregulated offshore subsidiaries⁽³⁾.

Although it would overstate to say that the Dodd-Frank Act has been erased or gutted, it has been significantly

(1) Technically, the Act is more properly identified as the Wall Street Reform and Consumer Protection Act, Pub. L. No. 111-203, 124 Stat. 1376 (2010). For purposes of this non-technical article, I will shorten this title to the “Dodd-Frank Act”.

(2) For an overview of the Dodd-Frank Act and the pushback that it generated from the outset, see COFFEE John C., Jr., The Political Economy of Dodd-Frank: Why Financial Reform Tends to be Frustrated and Systemic Risk Perpetuated, 97 Cornell L. Rev. 1019 (2012). Beyond the subparts of the Dodd-Frank Act noted in the text, its provision on stress testing may have proved the most useful (and it predictably has been rolled back, as later discussed).

(3) Some of the Dodd-Frank Act’s rules appear to have been evaded simply by moving transactions offshore. See LEVINSON Charles, Vanishing Act: U.S. Banks Moved Billions of Dollars in Trades Beyond Washington’s Reach, Reuters Investigates, August 21, 2015. Essentially if U.S. banks trade through foreign subsidiaries and the parent bank does not guarantee the transaction, the Commodities Futures Trading Commission takes the position that these transactions are beyond its jurisdiction. More generally, with respect to the re-appearance of risky securitizations and overly leveraged lending, the Bank of England has just “sounded the alarm”, focusing particularly on the U.S. market. See DOUGLAS Jason, “U.K. Central Bank Warns On Debt Risk”, The Wall Street Journal, June 28, 2018 at B10. For fuller details, see *infra* at note 45.

crippled. One can express shock at this (“How soon they forget!”), but it was also predictable. Why? A recurrent regulatory cycle has characterized most major financial crises and the reaction to them. The cycle begins (at least in Democracies) with a swift (and often punitive) political reaction ⁽⁴⁾, and significant reform legislation is enacted. Only at such moments can democratic majorities, enraged and demanding action, overcome the entrenched financial establishment. This tendency can be traced back to the South Sea Bubble, which burst in 1720 and caused an infuriated Parliament to overreact and prohibit the private chartering of corporations ⁽⁵⁾. But at some later point, the second phase of this cycle begins. Once the crisis cools and the public’s attention turns elsewhere, powerful institutions can quietly lobby to unwind much of the regulation to which they have been subjected. Sometimes, this may take a substantial period. For example, Parliament’s ban enacted after the South Sea Bubble on privately chartered

corporations (which are universal today) lasted (in both the U.K. and the U.S.) until the advent of the Industrial Revolution and the appearance of the railroads (which needed to raise capital on a massive scale and whose promoters wanted to utilize limited liability to do so). Similarly, the federal securities laws and the Glass-Steagall Act in the United States were a direct response to the 1929 Stock Market Crash, and they lasted (largely untouched) until the 1980’s when deregulation gradually pruned away many of their original (and arguably outdated) provisions ⁽⁶⁾. All that is different and unique in the case of the Dodd-Frank Act is the speed with which it has been eclipsed. While the federal securities laws and Glass-Steagall remained impregnable for a half century at least, Dodd-Frank has enjoyed at most a window of a few years (and more trimming may yet come).

In earlier work, I have termed this phenomenon the “Regulatory Sine Curve” ⁽⁷⁾. To the extent that this cycle is apparent again, two notable differences stand out: First, the speed of the retreat has been much faster in the U.S. Indeed, the Dodd-Frank Act has experienced a much quicker counterattack than had been seen in the aftermath of earlier financial crises. Second, Congress and regulators moved quickly in the United States, both in initially enacting comprehensive legislation and later in cutting it back. In contrast, Europe moved more slowly, but it has seen no



Photo © WIKIPEDIA COMMONS

Caricature about the failure of the South Sea Company, in “Extraordinary Popular Delusions and the Madness of Crowds”, by Charles Mackay, England, 1720.

« Parliament’s ban enacted after the South Sea Bubble on privately chartered corporations (which are universal today) lasted (in both the U.K. and the U.S.) until the advent of the Industrial Revolution and the appearance of the railroads. »

(4) For a fuller description of this cycle, see COFFEE, *supra* note 2, at 1020 to 1021; BANNER Stuart, What Causes New Securities Regulation? 300 Years of Evidence, 75 Wash. U. L. Q. 849, 849-851 (1997); DOWNS Anthony, Up and Down with Ecology – The “Issue Attention” Cycle, 28 Pub. Int. 38, pp. 38-41 (1972) (arguing that legislative inertia and interest group veto power can only be overcome after a crisis that captivates the public’s attention). Others argue that the same phenomena apply to the passage of environmental laws. See SCHROEDER Christopher H., Rational Choice Versus the Republican Moment – Explanations for Environmental Laws, 1969-1973, 9 Duke Energy L. & Policy F. 29, pp. 33-36 (1998).

(5) The South Sea Company was a British joint-stock company, founded in 1711 as a public-private partnership to consolidate and reduce the national debt; it was granted a monopoly to trade with South America and nearby islands (which at the time remained under Spanish control). Because the South Sea Company had no access to South America, trading of governmental debt became its principal activity, and its stock price rose precipitously, before crashing in 1720. The scandal deepened when some members of the Royal Family were found to have engaged in significant self-dealing relating to the South Sea Company. In reaction, Parliament enacted The Bubble Act 1720 (6 Geo. I, c. 18), which prohibited the creation of joint stock companies without a royal charter. Ironically, this Act was supported by the South Sea Company, itself, which wanted to eliminate competition.

(6) The Glass-Steagall Act, passed in 1933, denied commercial banks the ability to underwrite securities, thus eliminating a source of both risk and conflicts of interest for banks. It was not formally repealed until the Gramm-Leach-Bliley Financial Modernization Act was enacted in 1999. But well before that point, the Federal Reserve Board had gradually loosened many of Glass-Steagall’s prohibitions during the 1980s. Similarly, although the Securities Act of 1933 has never been repealed (nor is it likely to be), many of its restrictions were relaxed in the 1980s, with the introduction of integrated disclosure, shelf registration, and eased requirements for private placements (including both Regulation D and Rule 144).

(7) For a fuller description of this term, see COFFEE, *supra* note 2, at 1029-1031.

similar return to deregulation⁽⁸⁾. Brussels is not fighting the “barbarians at the gate” (as the U.S. is).

What explains both these differences? Let us begin with the faster pace in the United States. Why has it been easy to unwind Dodd-Frank? Here, it is much too simple to rely solely on the unexpected election of Donald Trump as President; he did not begin this process; nor was he closely involved in much of it. A deeper explanation requires that we start with the general public’s indifference to the causes of the crisis. Basically, the public does not understand financial regulation, which is complex and arcane. Thus, it may not see its own stake in the survival of such legislation. Of course, that was arguably true with respect to the passage of the federal securities laws in the 1930’s as well (and they survived much longer without serious change). Possibly, the U.S. public in the era after 1929 did understand that the Glass-Steagall Act was intended to keep banks small (and liked that). Put differently, the public (and Congress) had no more than a dim idea of who the villain was in the aftermath of the 2008 crisis. At best, systemic risk regulation is an abstract concept, focused less on fraud than on requiring lenders to be prudent on the obvious grounds that a large bank’s collapse can set off a domino-like wave of failures. Still, such a goal requires prophylactic and seemingly rigid rules, which are predictably unpopular with consumers, borrowers and the industry.

Second, Dodd-Frank challenged very entrenched practices (such as incentive compensation), and the financial industry was strongly motivated to resist it. Third, virtually everyone – both on the Left and the Right – likes easy money. But reducing systemic risk requires that liberal, even reckless, lending be controlled and that is unpopular. Thus, quasi-public lenders, such as Fannie Mae and Freddie Mac, were able to escape potential death sentences, despite very culpable behavior on their part, because the vast majority in Congress wanted to assure the easy availability of mortgage funds. Hence, the industry had a powerful argument that they did not have after 1929: deregulation will mean more and easier lending.

To be sure, the U.S. public did know what it did not like – most notably, “bailouts”. Unfortunately, the bailout of a large financial institution may be the soundest way to prevent its failure from triggering a financial contagion⁽⁹⁾. Consider, for example, what might have happened if the Federal Reserve and the Treasury had not bailed out AIG. In contrast, the exact point at which a large bank should be classified as a SIFI or the precise leverage ratio to which it should be subjected triggers no emotional or intuitive response from the public. To put this a different way, after a vivid scandal, such as Bernie Madoff’s Ponzi scheme, no one could conceivably seek the repeal of mutual fund regulation, but the financial industry could easily (and did) lobby for the redefinition of “SIFI” and a loosening of “proprietary trading” restrictions under the Volcker Rule, arguing that their reforms would create jobs or ease credit. The Crash of 1929 both produced more vivid villains and ones that better aligned with the needed reforms; thus, the laws engendered by that Crash may have lasted longer.

Beyond these observations, there is a larger generalization about the asymmetry between the contending forces that explains why financial reforms tend to be watered down over time. It was first offered in an integrated fashion by Mancur Olson in his classic book, *The Logic of Collective Action: Public Goods and the Theory of Groups*⁽¹⁰⁾. Olson’s central idea is that smaller, better-organized, and naturally cohesive groups will predictably outperform larger, citizen-based “latent” groups. Self-funded business lobbies – for example, the U.S. Chamber of Commerce or The Business Roundtable – will thus dominate broader, but less well-funded, groups seeking to represent diffuse groups, such as investors, bank depositors or the general public. Once the public’s indignation subsides (as it eventually does), banks and other “inside” players will out lobby a broader, but loose-knit aggregation, such as the public. That is now happening.

These comments do not deny that necessarily rushed legislation can result in overregulation. For example, the Sarbanes-Oxley Act in 2002 indirectly created an obligation under Section 404(b) of that Act to verify a reporting company’s internal controls, and this proved unduly costly for smaller companies⁽¹¹⁾. Not surprisingly, this provision was quickly cut back by both legislative and regulatory action⁽¹²⁾. Similarly, the Dodd-Frank Act set the level at \$50 billion at which a financial institution became a closely regulated “SIFI”. In retrospect, this level was probably too low (whereas the new legislatively set level of \$250 bil-

(8) This short piece cannot summarize the literature fully. Nonetheless, good summaries of changes in E.U. policy are available. See VERON Nicolas, “EU Financial Services Policy Since 2007: Crisis, Responses and Prospects”, 9 *Global Policy, Supplement 1* (June 2018), and European Commission, “Coping with the international financial crisis at the national level in a European context” (November, 2017).

(9) The idea of the central bank as the “lender of last resort” has long been a consensus proposition with which few financial economists disagreed and dates back to Walter Bagehot in the 19th Century. See BAGEHOT W., *Lombard Street: A Description of the Money Market* (1873).

(10) See OLSON Mancur, *The Logic of Collective Action: Public Groups and the Theory of Groups* (2nd ed. 1992). A number of important scholars have followed in Olson’s wake. See HARDING Russell, *Collective Action* (1982) and SANDLER Todd, *Collective Action: Theory and Application* (1992). For an application of Olson’s ideas to the world of corporate governance, see PRENTICE Robert A. and SPENCE David B., *Sarbanes-Oxley as Quack Corporate Governance: How Wise is the Received Wisdom?*, 95 *Geo. L. J.* 1843, 1847-49 92007.

(11) Section 404(b) of Sarbanes-Oxley Act did not actually require the auditor to “audit” the company’s internal controls, but only to “attest to and report on” management’s assessment of its internal controls (which assessment was required by Section 404(a)). However, the Public Company Accounting Oversight Board (“PCAOB”), adopted its Auditing Standard No. 2 in 2004, which required a full-scale audit of the issuer’s internal controls, and industry reaction was swift and hostile. For the fuller statutory language, see *infra* at note 50.

(12) This audit requirement was costly, particularly for smaller companies, and the JOBS Act in 2012 exempted “emerging growth companies” from this requirement. Even earlier, in 2006, the PCAOB also relaxed its rule for smaller companies. See Auditing Standard No. 5. See COFFEE, *supra* note 2, at 1037-1039.

lion may be too high). This recognition of the potential for hasty overregulation reveals the problematic side to the Regulatory Sine Curve on which this article focuses. Simply put, it is never easy to identify the “Goldilocks point” at which the temperature is neither too hot nor too cold, but just right. In this light, this article will briefly survey in deliberately non-technical prose five areas where deregulation may have gone past the point of sensible adjustment. Its specific conclusions may be debatable, but not its central point about the accuracy of Mancur Olson’s prediction that the better organized groups will win most regulatory contests, defeating larger, “latent” groups. That, in turn, frames the final question on which this article will focus: How, if at all, can we adjust or respond to the inevitable tendency of collective action to favor the better organized minority?

Still, what explains the much slower pace of reform and retreat in Europe? Arguably, less was done in Europe to curb systemic risk in the immediate aftermath of 2008, but clearly far less has been done in Europe than in the United States to undo these reforms over the last several years. This suggests that the more complex and fragmented political structure of Europe slows and retards both reform and the counter-reaction to reform. Once legislation is enacted within the European Union, Brussels appears to be fairly insulated from the lobbyists who wish to repeal or modify it. Why? Possibly, the key difference is that the American Congress can be dominated by a single political party. When that dominant party is liberal (i.e., the Democratic Party), reform sweeps in after a crisis. But when a conservative party (i.e., the Republican Party) takes control, the prior reforms can die a death by a thousand cuts. In contrast, no single political party is active across Europe. Similarly, no political leader seeks to aggregate dissident groups or disaffected persons across all Europe. Thus, no single election or transfer of power can fundamentally shift the attitudes of the European Commission (or its bureaucracy). As a result, there is no common agenda (or at least not one determined by the political process).

In turn, this relative fragmentation affects lobbyists as well. In the U.S., lobbyists need only to gain the support of the U.S. President or the leadership of the dominant political party. In Europe, gaining the support of the Prime Minister of France or Germany still does not mean that the lobbyists have captured the E.U. In short, because it is much harder to dominate the European political process, both reform and counter-reform move at a slower, less coordinated pace. For better or worse, the result is that the bureaucrats in Brussels cannot be easily overruled.

A Closer Look at the U.S. Experience: What Problems and Regulatory Gaps Have Re-emerged Post-Crisis?

If one contemporaneous statement made during the 2008 Crisis seems likely to survive and be remembered, it is the much quoted comment of Charles Prince, then the CEO of Citigroup, who was asked in 2007 what would happen now that securitizations were encountering resistance and recognition was growing that financial institutions were overle-

veraged. He responded, with a seemingly resigned shrug, acknowledging that there were problems, but still insisting:

“As long as the music is playing, you’ve got to get up and dance!”⁽¹³⁾.

In short, even if problems are evident, one has to keep on closing deals. Ignore that they may later explode, producing litigation and bankruptcy. That is someone else’s problem.

Behind this attitude lie two powerful forces: 1) financial competition, as banks dare not fall behind their rivals, for fear that their shareholders will revolt; and 2) incentive competition, as financial executives have come to be compensated under incentive formulas that give them both a short-term and risk-tolerant orientation. Ironically, the Dodd-Frank Act actually aggravated the first factor by authorizing “proxy access,” a procedure that gave activist shareholders increased leverage over corporate managements⁽¹⁴⁾. But the Business Roundtable sued and invalidated the SEC’s rule adopted to implement proxy access⁽¹⁵⁾, thus both ending this threat and again demonstrating the power of a well-organized group.

Not surprisingly, the Dodd-Frank Act specifically addressed incentive compensation and sought to limit its influence. But of all the areas in which Dodd-Frank has been cut back, this is the clearest (and most extreme) example, because, despite elaborate draft rules, nothing was ever adopted. The problem of incentive compensation has now been deemed a non-problem.

The 2008 crisis also demonstrated beyond argument that major banks were “too big to fail”. Given also that Congress chose to limit the Federal Reserve’s authority to bail out a major bank, it was blindingly obvious that banks had to be regulated so that they did not fail. The Dodd-Frank Act attempted to accomplish this in several ways, and for our purposes it will be sufficient to examine two such efforts: 1) the Volcker Rule, and 2) new controls on capital and leverage. In both cases, strong rules were imposed, but have already (as of mid-2018) been substantially cut back. The rules that remain in place are clearly an improvement over the pre-Dodd-Frank regulatory environment, but it is reasonable to conclude that they fall somewhere short of the “Goldilocks Point” at which the level of regulation is “just right”.

Next, the Dodd-Frank Act created a new body to protect consumers in the financial sector: the Consumer Finan-

(13) See DEALBOOK, “Citi Chief on Buyouts: ‘We’re Still Dancing’”, New York Times, July 10, 2007.

(14) Pursuant to authority granted by the Dodd-Frank Act, the SEC adopted Rule 14a-11, which would have permitted a specified level of shareholders under defined circumstances to nominate candidates for the issuer’s board of directors and include them on the corporation’s own proxy statement (thereby allowing dissident shareholders to economize on the costs of a proxy solicitation).

(15) In a controversial decision, this rule was struck down by the D.C. Circuit Court of Appeals for failure to conduct an adequate cost/benefit analysis. See *Business Roundtable v. S.E.C.*, 647 F. 3d 114 (D.C. Cir. 2011).

cial Protection Bureau (or “CFPB”) ⁽¹⁶⁾. Its core priorities, according to its first director, Richard Cordray, were mortgages, credit cards, and student loans ⁽¹⁷⁾. To this end, the CFPB promulgated rules seeking to reform mortgage lending, including by specifying income ratios for “qualified mortgages” – an obvious response to the decline in mortgage lending standards prior to the 2008 crisis.

Since its outset, the CFPB has been the subject of legal and legislative challenges. In 2018, Congress passed, and President Trump signed into law, legislation 1) repealing CFPB’s automobile lending regulations, and 2) exempting smaller banks that had been subject to its regulations ⁽¹⁸⁾. Here, the banking industry has clearly counter-attacked vigorously and effectively and left the CFPB today a weak and muted agency.

Finally, what has happened to financial enforcement? Here, the most active enforcer is the SEC, and as will be seen, the SEC has shifted its focus to the retail level and sued few public companies under President Trump. This is a major shift from the Obama Administration, which in its final years compelled the largest banks to pay massive settlements for their role in the 2008 crisis.

Each of these examples needs a fuller (but still brief) examination.

Incentive Compensation

A long list of authorities can be listed for the proposition that incentive compensation (and particularly stock options) induces corporate managers to accept increased risk ⁽¹⁹⁾. Some studies show that this incentive may also incline executives to engage in financial misreporting ⁽²⁰⁾. Historically, executive compensation has shifted dramatically, beginning in the 1980’s. Figure A below shows the sudden acceleration in the median compensation of CEOs and other top officers from 1940 to 2000 ⁽²¹⁾.

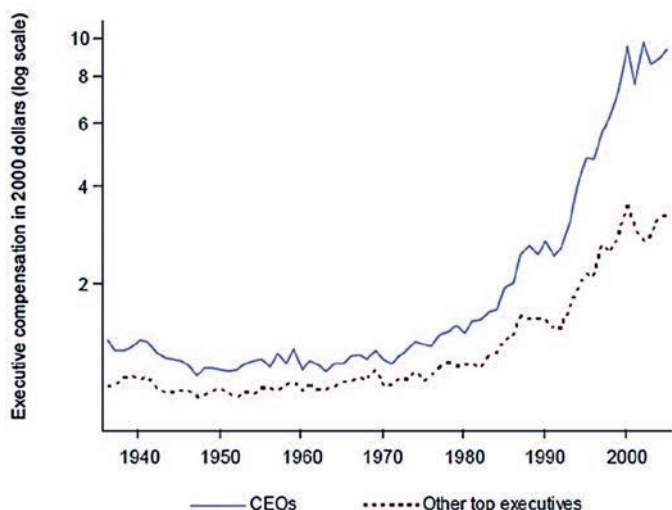


Figure 1: Median Compensation of CEOs and Other Top Officers from 1936 to 2005.

Clearly, there is a major inflection point in the 1990s. What caused it? Figure 2 below shows that a shift from cash to equity compensation bears the principal caused responsibility ⁽²²⁾.

As of 2015, Equilar has reported that the share of total CEO compensation deriving from equity was 60% for companies in the S&P 500 ⁽²³⁾.

The dangers of incentive compensation are particularly acute in the world of investment banking ⁽²⁴⁾. Suppose a bank realizes that securitizations have become toxic and the mortgages it has assembled into portfolios are likely to default. Should it halt their sale? If senior bank officials handling these deals stand to make bonuses of \$10 to \$20 million when these deals close this year, those officers will push back hard at any such suggestion. Some will leave for other jobs, and an executive revolt is predictable. Arguably, the bank just has to keep dancing “while the music was playing”.

Figure 3 shows just how endemic such bonuses were at the major banks specializing in mortgage-backed securitizations. As Figure 3 shows, the major banks lost billions (\$27.7 billion in the case of Citigroup), but still created enormous bonus pools even while heading towards insolvency (\$5.33 billion at Citigroup in this worst year on record) ⁽²⁵⁾. Citigroup paid bonuses of over \$3 million to 124 persons (and other similar banks paid such bonuses to over 200 persons).

(16) The CFPB is most easily defined as the federal agency charged by the Dodd-Frank Act with overseeing consumer protection in the financial sector. Much of its power was re-allocated from other federal agencies, including the Federal Reserve Board, which was thought to have underperformed in this area. Technically, it is housed within the Federal Reserve System, but it is independent of the Federal Reserve Board. The CFPB remains the subject of litigation challenging its constitutionality. The CFPB was clearly the brainchild of Senator Elizabeth Warren, who authored a law review article in 2007, calling for its creation. For her original conception, see WARREN Elizabeth, “Unsafe at Any Rate: If It’s Good Enough For Microwaves, It’s Good Enough For Mortgages”, *Democracy* (Summer 2007) at p. 8.

(17) See EAGLESHAM Jean, “Warning Shot on Financial Protection”, *The Wall Street Journal*, February 9, 2011 (quoting Richard Cordray, the CFPB’s first director).

(18) See WARMBRODT Zachary, “Trump Signs Bill Blocking Consumer Bureau Auto-Lending Measure”, *Politico*, May 21, 2018. SHERMAN Erik, “Scaling Back Dodd-Frank Is Just the Beginning in Trump’s Run On Deregulation”, *NBC News*, May 24, 2018.

(19) For an overview, see COLES J., DANIEL N. D. and NAYEEN L., “Managerial Incentives and Risk-Taking”, 79 *Journal of Financial Economics* 413 (2006); LARCKER D., ORMAZABAL G., TAYLOR B. and TAYLOR D. J., *Follow The Money: Compensation, Risk and the Financial Crisis*, *Stanford Closer Look Series*, September 8, 2014.

(20) See ARMSTRONG C. S., LARCKER D., ORMAZABAL G. and TAYLOR D. J., “The Relation Between Equity Incentives and Misreporting: The Role of Risk-Taking Incentives”, 100 *Journal of Financial Economics* 327 (2013).

(21) See FRYDMAN C. and JENTER D., “CEO Compensation”, 2 *Annual Review of Financial Economics* 75 (2010).

(22) *Id.*

(23) See Equilar, “2015 CEO Pay Strategies”, at p. 90 (2016).

(24) BEBCHUK Lucian A. and SPAMANN Holger, *Regulating Bankers’ Pay*, 98 *Geo. L. J.* 247, 255-274 (2010); BEBCHUK Lucian A. et al., *The Wages of Failure: Executive Compensation at Bear Stearns and Lehman 2000-2008*, 27 *Yale J. on Reg.* 257, pp. 273-276 (2010) (arguing that incentive compensation created moral hazard problems).

(25) See CUOMO Andrew M., *No Rhyme or Reason: The “Heads I Win, Tails You Lose” Bank Bonus Culture*, at 5 (2009); see also COFFEE, *supra* note 2, at 1068.

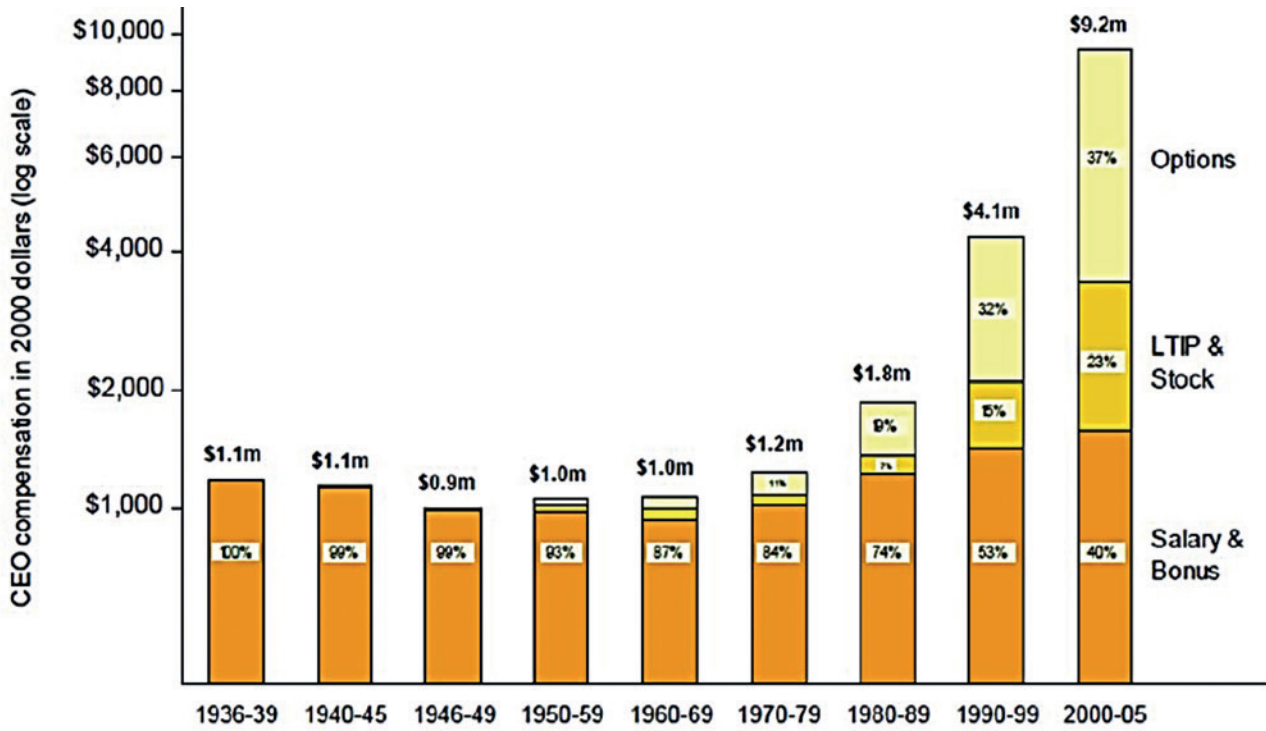


Figure 2: The Shifting Structure of CEO Compensation.

Institution	Earnings / (Losses)	Bonus Pool	No. of Employees Receiving Bonus ≥ \$3 million	No. of Employees Receiving Bonus ≥ \$1 million
Bank of America	\$4 billion	\$3.3 billion	28	172
Citigroup, Inc.	\$(27.7 billion)	\$5.33 billion	124	738
Goldman, Sachs Group	\$2.322 billion	\$4.823 billion	212	953
J.P. Morgan Chase & Co.	\$5.6 billion	\$8.693 billion	≥ 200	1,626
Merrill Lynch	\$(27.6 billion)	\$3.6 billion	149	696
Morgan Stanley	\$1,707 billion	\$4.475 billion	101	428

Figure 3: Selected TARP Recipients 2008 Bonus Compensation.

But these bonuses ensured that the bankers would be closing deals to earn them even at the brink of insolvency.

The draftsmen of the Dodd-Frank Act understood this problem and designed §956 to enable regulators to discourage inappropriate risk-taking at “covered financial institutions.” In terms of its substantive commands, Section 956 did essentially three things: 1) it authorized financial regulators to prohibit “excessive compensation”; 2) it instructed them to discourage incentive compensation which, even if not “excessive”, could lead to “material financial loss”; and 3) it required most “covered financial institutions” to disclose to their respective regulator “the structure of all incentive-based compensation” paid to officers, directors and employees, to enable the regulator to regulate compensation “that could lead to material financial loss to the covered financial institution” (26). This was vague, but it seemingly allowed regulators to request at least what was disclosed in Figure 3 above (which was disclosed by then New York State Attorney General Andrew Cuomo after an investigation of these banks).

Nothing like Figure 3 was ever disclosed (or even required in draft regulations to be disclosed). The various regulators (including the Federal Reserve, the SEC, and the FDIC) were simply faced down in negotiations by the banking community. In terms of disclosure, the regulators were convinced to accept only a generalized narrative description of the structure of executive compensation. This would have produced largely formalized boilerplate of limited value. Still, in the case of the larger banks in Levels One and Two (i.e. those with assets over \$50 billion), the draft regulations did require more, including disclosure of specific details as to incentive compensation arrangements. More importantly, in these cases, the regulations proposed substantive requirements to mitigate the impact of incentive compensation, including deferrals of up to 60% of incentive compensation for up to four years (depending on the institution’s size) plus clawbacks (27).

(26) Section 956 was codified at 12 U.S.C. § 5641. Still, it is the rules under Section 956 that are crucial. From early on in the implementation of the Dodd-Frank Act, it was contemplated that there would be three levels of “covered financial institutions”: Level One would cover institutions with total consolidated assets of \$250 billion or more; Level Two would cover institutions with total consolidated assets between \$50 billion and \$250 billion, and Level Three would cover institutions in the range of \$1 billion to \$50 billion in total consolidated assets. Institutions in Levels Two and Three were required to impose deferrals of payment, downward adjustments, and “clawback” provisions on senior executive officers and certain other employees engaged in risk-taking in order to reduce their incentives to enter transactions that could result in material losses. But institutions in all three levels were required (with some small exceptions) to comply with Section 956’s disclosure provisions.

(27) Senior executive offers at Level One financial institutions were, under the proposed rules, to be subject to deferral of 60% of incentive compensation for four years (and significant risk takers at Level One institutions, who were not such executives, would face a deferral of 50% of such compensation for four years). Thus, traders, if covered at a Level One bank, would not receive half of their bonuses or other incentive payment for four years.

These were meaningful reforms, but they did not apply to many of the persons most likely to injure their institutions in pursuit of incentive compensation. Although the Dodd-Frank Act recognized that employees other than senior executives (whom it termed “significant risk-takers”) might similarly cause material losses, it did not specify how persons in this latter category should be defined or identified. Logic and experience suggested that most traders can easily cause such a loss, possibly through unauthorized trading (Barings Bank had failed from such an experience and Societe Generale had had a very recent similar experience)⁽²⁸⁾. Although this expanded coverage was logical, it threatened banks and caused them to push back. If banks had to disclose their compensation levels for traders and then design rules that restricted or delayed their incentive compensation, these traders might migrate *en masse* to unregulated hedge funds (and indeed many did). Thus, the banking industry wanted a different standard under which the board (or a committee thereof) of each large bank would determine who could cause it a “material financial loss”. Only these identified persons would then be subjected to restrictive policies (such as clawbacks). Obviously, banks had an incentive under this standard to under-identify those who could harm it.

Based on this weak compromise, the Obama Administration in 2011 implemented Section 956 to require only 1) a lengthy narrative on covered banks’ executive compensation policies; 2) in the case of banks with assets over \$50 billion, more specific rules on disclosure with respect to executive officers and those persons, if any, identified by the board as being capable of causing a “material loss;” and 3) deferral and clawback rules for the executive officers and other persons so identified⁽²⁹⁾. In short, each major bank could largely decide for itself to whom Section 956 would apply.

This was extreme deference to the industry, but it was only the start. The rules proposed in 2011 and published in the Federal Register were never adopted. Even these were resisted by the industry. By the end of the Obama Administration in 2016, new rules – tougher in some respects and softer in other respects – were widely circulated, but these too were never adopted⁽³⁰⁾. Then came the Trump Administration, and the entire project was quickly shelved. No rules are currently under consideration, and Section 956 has been quietly abandoned.

To sum up, the 2008 crisis was caused at least in substantial part by excessive risk-taking motivated in the view of most observers by excessive incentive compensation. Congress passed a broad grant of authority (Section 956) to curb excessive incentive compensation, but the entire project collapsed (in stages) in the face of industry opposition. To be sure, many major banks today do have “clawback” policies, but examples are few and far between in which compensation has been recovered pursuant to them⁽³¹⁾. If this shows anything beyond political cowardice in Washington, it is that Mancur Olson was on to something important.

Who Is a SIFI?

Recognizing that major banks (and other financial institutions) were “too big to fail”, the Dodd-Frank Act subjected them to additional oversights and imposed higher capital and more restrictive leverage requirements. At the time, this was relatively uncontroversial, as Lehman and AIG were very visible cases in point of poorly managed financial institutions (and they were not the only firms rendered insolvent in 2008). But when the Regulatory Sine Curve turns downward, lobbyists pursue deregulation incrementally. A first target was the level at which a bank must become a SIFI. Under the Dodd-Frank Act, this level was set at \$50 billion. Almost everyone today concedes that that level was probably set too low. The “Economic Growth, Regulatory Relief and Consumer Protection Act,” enacted by Congress and signed by President Trump in 2018, raised this level (in stages) to \$250 billion⁽³²⁾. Is this level

(28) For example, Jerome Kerviel lost \$7.2 billion for Societe Generale in 2008 through unauthorized trading as a relatively junior trader. See ISKYAN Kim, “Here’s the story of how a guy making \$66,000 a year lost \$7.2 billion for one of Europe’s biggest banks”, Business Insider, May 8, 2016. Ultimately, Mr. Kerviel was criminally convicted by a French court, but whether he was a “rogue trader” (as his employer characterized him) or only a fallible trader who responded to excessive incentives remains debatable.

(29) See “Incentive-Based Compensation Arrangements”, Exchange Act Release No. 64, 140, 76 Fed. Reg. 21,120 (April 14, 2011).

(30) No single proposed regulation was jointly released by all six agencies (The Federal Reserve Board, the Federal Housing Finance Agency, the Office of the Comptroller of the Currency, the Federal Deposit Insurance Corporation, the Securities and Exchange Commission, and the National Credit Union Administration); nor were these rules filed in the Federal Register. Major law firms, however, wrote detailed memos to their clients about these changes. See Latham & Watkins, “Client Alert: Revised Rules on Dodd-Frank Incentive Compensation Requirements for Financial Institutions Proposed” (May 4, 2016 - Number 1963). One important change was to define “significant risk-taker” to include only persons at Level One and Two institutions who received at least one-third of their compensation in the form of incentive compensation and were “among the top five percent (for Level One covered institutions) or top two percent (for Level Two covered institutions) of highest compensated covered persons” and had “authority to commit or expose 0.5 percent or more of the capitals of the covered institution”. *Id* at p. 6. Such a definition would likely exclude most traders at most institutions. But at least this provision would have ended total reliance on the board’s (or committee’s) identification of “significant risk-takers”.

(31) To my knowledge, as of mid-2018, the only significant use of clawbacks subsequent to the 2008 crisis has been at Wells Fargo Bank, where the board clawed back \$75 million from two executives (Chairman John G. Stumpf and Executive Vice President Carrie L. Tolstedt) in the wake of a scandal there that was unrelated to the 2008 crisis. See COWLEY Stacy and KINGSON A., “Dealbook: Wells Fargo to Claw Back \$75 million from 2 former Executives”, New York Times, April 10, 2017.

(32) This legislation, sponsored by Senator Michael Crapo of Idaho and known as S.2155, passed Congress in late May, 2018 when the House adopted the Senate bill. In both the House and the Senate, there was relatively bipartisan support for the legislation. Clearly, this legislation did not repeal the Dodd-Frank Act (and the House version, which would have repealed the Volcker Rule, did not pass the Senate, although S.2155 does exempt banks with less than \$10 billion in assets from that rule). Title IV of S.2155 raises the SIFI threshold from \$50 billion to \$250 billion (but permits the Federal Reserve Board to determine that specific banks with assets greater than \$100 billion should be subject to the same standards as a SIFI). Title IV further ends “company run” stress tests for banks with under \$250 billion in assets. “Periodic” supervisory stress tests are still permitted for banks with assets from \$100 billion to \$250 billion.

too high? Here, one can quickly generate a spirited debate. Probably around two dozen banks were exempted from SIFI status by this change. It is unlikely that the failure of any one of these banks would have the same impact as Lehman's failure in 2008 (although Lehman's failure may have shocked the market because it showed that the market did not properly understand the vulnerability and exposure that financial institutions had, both in the "repo" market and in terms of the illiquidity of their holdings).

Still, even if the impact of raising the level of SIFI-hood is indeterminate, one example bears special emphasis. The 2008 crisis started in the market for residential mortgage-backed securities. Here, one villain does stand out: Countrywide Financial Corporation, the largest U.S. lender in sub-prime mortgages. By most accounts it was a "freewheeling mortgage machine" that led a general relaxation in mortgage lending standards, through such techniques as "exploding interest rates" and "interest only" mortgages⁽³³⁾. On the brink of insolvency, Countrywide was acquired (probably unwisely) by Bank of America, which has been forced to absorb billions in liabilities attributable on Countrywide's behavior. The relevant point here is that Countrywide (at the time of its acquisition) fell in the zone between \$50 billion and \$250 billion that has now been deregulated. Had Dodd-Frank existed in 2006, Countrywide would have been subject to leverage ratios, capital levels, and stress tests that might have identified it as a dangerously exposed bank at an earlier stage. Countrywide's example suggests that more supervision is needed over banks in this range, particularly because stress tests would reveal weaknesses that can later destabilize the market⁽³⁴⁾.

In addition to the "Economic Growth, Regulatory Relief, and Consumer Protection Act" discussed above, the Federal Reserve is currently rewriting and lowering its leverage-ratio rule (which require U.S. banks to maintain a minimum level of capital defined in terms of their total assets). Essentially, this reduction will be down to a level required by the Basel Committee on Banking Regulation; thus, it is unlikely to be a game-changing reduction. Nonetheless, this reduction should be measured against a contemporaneous marked change in banking behavior. In 2018, for the first time since 2008, U.S. banks will pay out in dividends and stock buybacks more capital than they are earning from their operations⁽³⁵⁾. In effect, capital is flowing out, just as deregulation is reducing the mandatory standards. If this trend continues, banks could return to their position in the pre-bubble era.

The Volcker Rule

If major banks are "too big to fail" and if Congress insists that bailouts are impermissible, then banks must be regulated so they do not fail by barring them from risky activities. The Volcker Rule is a means to this end⁽³⁶⁾. To be sure, the activities barred by the Volcker Rule did not cause the 2008 crash. But this concession means little, as all crashes come from the blind side. Restricting the risks that banks can run therefore makes sense.

In its core provision, the Volcker Rule barred banks from engaging in "proprietary trading" on the obvious premise that

banks (which have thin equity) should not be able to bet on securities with effectively their depositors' money. But the term "proprietary trading" is not self-defining, and thus an important provision in the rule was its presumption that any position in a security held for less than 60 days was to be deemed a "proprietary" trade. That presumption would now be abandoned. In addition, the Volcker Rule contained exemptions for trading done as a part of hedging, market-making or underwriting activities by the bank. These exemptions will now be expanded, and the documentation necessary to justify them will be greatly relaxed. As others have phrased it, the result is to turn the Volcker Rule into "a 'we'll-take-your-word-for-it' kind of a rule"⁽³⁷⁾. Depending on how the Volcker Rule is enforced, these changes will downsize it somewhere between moderately and greatly.

In all likelihood the level of speculative trading by banks in securities will not return to pre-2008 levels, largely because high-paid traders have migrated to hedge funds. This migration was partly caused by expected controls on incentive compensation at banks, but those rules were never adopted. Thus, over the long-run, it is unclear whether traders will return to banks, so that banks could again become major players in speculative trading.

To sum up, the Volcker Rule has not been abolished, but compliance with it is likely to vary significantly across banks, and ultimately this could produce a standard race to the bottom.

The Consumer Financial Protection Bureau

This agency, created by Dodd-Frank based on a 2007 proposal by now Senator (but then Professor) Elizabeth Warren, has always been controversial⁽³⁸⁾. Essentially, Dodd-Frank concentrated the consumer protection responsibilities of several federal agencies in the CFPB. From its outset, the CFPB made clear that its high-priority concerns were with mortgage lending, credit cards, and student loans⁽³⁹⁾.

Correspondingly, from its outset, the Trump Administration made clear its hostility to the agency, and the CFPB direc-

(33) See MORGENSEN Gretchen, "Fair Game: Countrywide Mortgage Devastation Lingers on as Ex-Chief Moves On", N.Y. Times, June 26, 2016 at B-1.

(34) It should be added that even under the 2018 legislation, the Federal Reserve can still order banks with assets over \$100 billion to undergo stress tests, but such authority is likely to be used by the Fed only sparingly.

(35) See GRAY Alistair and MCLANNAHAN Ben, "U.S. banks poised to hand out \$170 bn", Financial Times, June 18, 2018 at p. 13.

(36) Essentially, the Volcker Rule bars commercial banks from "proprietary trading" or owning or sponsoring a hedge fund. Section 619 of the Dodd-Frank Act, which has been codified at 12 U.S.C. § 1851, expresses this prohibition. The rules implementing the Volcker Rule were delayed as the result of lobbying and did not go into effect until July 21, 2015.

(37) See ARNOLD Chris, "Fed Proposes Changes in Volcker Rule", NPR, May 21, 2018. Smaller banks with assets under \$10 billion are now exempted from the Volcker Rule. See note 32 supra.

(38) For the article by then Professor Warren, see WARREN, supra note 15.

(39) See EAGLESHAM, supra note 16 (quoting CFPB's first director, Richard Cordray).

tor initially appointed by President Trump, Mick Mulvaney, once called the agency a “sick, sad joke”⁽⁴⁰⁾. In 2018, legislation supported by the Trump Administration was twice enacted, in the first case, exempting smaller banks from the CFPB’s jurisdiction and, in the second case, repealing the CFPB’s rules on automobile lending⁽⁴¹⁾. Mulvaney also summarily dismissed the CFPB’s Advisory Committee after they had criticized his failure to meet with them.

In short, in contrast to the more moderate reforms relating to SIFI status, the Volcker rule, or leverage ratios, the CFPB has been effectively placed in a deep freeze and rendered inactive. The impact of such a move on systemic risk regulation is, however, less clear. Although rules restricting “interest only” mortgages and overly liberal lending might have a salutary effect on systemic risk, this was never the CFPB’s mission or priority. No agency in Washington is prepared to stand between borrowers and easy money. And that is one way to state the dilemma surrounding systemic risk regulation.

Financial Enforcement

Legal realism tells us that rules do not work unless they are enforced. Yet, enforcement with respect to financial regulations (including anti-fraud rules) appears to be on the wane. A 2018 study by Cornerstone Research and the NYU Pollack Center finds that SEC enforcement actions against public companies declined to the lowest level in five years, with only 15 new actions being filed in the first half of 2018⁽⁴²⁾. This was a 67 percent decrease from the corresponding period in 2017. Of course, the SEC is only one agency, but it has the largest enforcement resources and capacity of any federal administrative agency and has traditionally been the leader. Add to this picture the forced muting of the CFPB and the extent to which revised rules (such as the revised Volcker Rule) depend upon voluntary compliance, and the prospect for undetected misbehavior looms large.

In contrast, in Europe, there is a new enthusiasm for financial enforcement. The European Commission is working on proposals to give the European Banking Authority greater enforcement powers and resources to investigate banks for money laundering and illicit financing⁽⁴³⁾. A new pan-European agency (created in the wake of the financial crisis) – the European Public Prosecutor’s Office – may also receive enhanced authority, particularly to investigate terrorist financing⁽⁴⁴⁾. To be sure, these new powers are a response to a series of scandals that have shown the European banking system to have been exploited by Russian and other criminals to launder billions in illicit funds. But for Europe to be investing in enforcement, while the U.S. trims its efforts, is a unique phenomenon.

An Initial Summary

This tour has been brief and incomplete. One could alternatively have examined recent developments in swaps and derivative trading, or at money market funds, or at clearing and credit rating agencies. But the same picture would likely emerge: some deregulation may seem justifiable; other deregulatory efforts are harder to evaluate; and finally, some deregulation seems clearly unjustifiable,

leaving us with a half-built regulatory fortress lacking a wall on at least one side. This does not mean that another financial crash is predictable in the short-run; indeed, realists must recognize that the banking industry is at the top of its business cycle and banks’ stock prices have never been higher. The point is rather that the business cycle eventually turns downward⁽⁴⁵⁾, and our defenses against systemic risk remain incomplete and inadequate.

How to Moderate the Regulatory Sine Curve

To this point, this article has emphasized three themes: 1) incentive compensation and competitive pressure will continue to fuel excessive risk taking in the financial sector; 2) the forces favoring deregulation are better organized, better funded, and better able to fight longer and harder than the temporary coalitions that assemble to seek reform after a financial crisis; and 3) somehow Europe, perhaps because of its less centralized political economy, seems less subject to the Regulatory Sine Curve. Where do these themes lead? First, what should the U.S. do if we start with the necessary recognition that we cannot turn ourselves into Europe? Even if one can imagine ways in which Congress could write more mandatory legislation on incentive compensation and other topics, the real problem is that more rigid rules are even more likely to be repealed or watered down by a later Congress. For example, the central idea adopted by the original designers of Dodd-Frank’s incentive compensation rules was to delay incentive compensation (or at least 50% of it) for a period of years in order to permit bonuses and options to be clawed back if the transaction justifying the bonus later soured. Conceptually, this seems sound, but its impact will be minimal if the clawback period is not long enough or if the “covered persons” do not include all those who could cause material loss to the company (such as “star” traders). Realistically, the Obama Administration’s proposed rules (at least the 2011 version) were full of loopholes and inconsistencies. For example, the proposed holdback would have senselessly applied to the company’s General Counsel (who is an “executive officer,”

(40) See O’DONNELL Katy, “Mick Mulvaney isn’t blowing up the CFPB; it’s more like a death by a thousand cuts, critics say”, Politico (April 30, 2018).

(41) See sources cited supra at note 17.

(42) See Cornerstone Research, “SEC Enforcement Activity: Public Companies and Subsidiaries - Midyear FY 2018 Update”.

(43) See KHAN Mehreen and BRUNSDEN Jim, “Bank Scandals spur EU to ramp up fight against cross-border crime”, Financial Times, September 10, 2018 at p. 1.

(44) Id.

(45) Despite a healthy, even booming, stock market, there are already warning signals flashing of a crisis in global debt markets. In June 2018, the Bank of England released a highly critical report on global debt markets that (in the words of The Wall Street Journal) “voiced particular concern about the U.S., where corporate borrowing has ballooned to 290% of first quarter earnings, according to BOE calculations” and has been “accompanied by looser lending standards, leading to a surge in high-risk lending..., a large share of which is being parceled into securitized assets sold to investors worldwide”. See DOUGLAS Jason, supra note 3. This sounds like 2007 all over again.

but seldom a key financial decision-maker), but not to its star traders. The statutory language in Section 956 was adequate, but the proposed rules were too compromised to be effective.

This example illustrates that the deeper problem here is how to minimize post-crisis backsliding when the lobbyists begin to pressure the regulator. Predictably, those doing this lobbying will be former regulators, themselves, and their approach will be friendly, helpful and well-informed. Nor will there be any organized group, ready, able and well-funded enough to counter their efforts.

In that light, this article will make two modest proposals: the first contemplates a special watchdog for systemic risk, and the second seeks to enlist existing gatekeepers to focus on systemic risk.

Creating A Watchdog for Systemic Risk

Financial reform legislation needs to create its own guardian. This guardian could not be part of the Government, itself, because shifting political tides would cause it to be staffed by the President and party in power. Rather, a permanent body, with an Inspector General-like authority, needs to be created, whose views would have to be solicited and which would publicly provide its evaluation. Its initial members would be persons with expertise in the field of systemic risk who would be Presidential appointees. Ideally, they would be appointed at (or immediately after) the time of the legislation's passage⁽⁴⁶⁾, but these initial members would appoint their own successors by majority vote. This self-perpetuating feature is intended to assure greater continuity and less political pressure. Suppose, for example, that the Dodd-Frank Act had required such a body, and President Obama had appointed to it persons such as Paul Volcker and Barney Frank. By now, some initial appointees might have retired, but to the extent their successors would have been appointed by the rest of this board, greater stability and consistency of outlook seems likely.

What powers would it have? First, rules and regulations (such as the Volcker Rule) adopted pursuant to the statute (and any amendments thereto) would have to be presented to it for its review and public comment. Possibly, this body could even require a delay (conceivably of up to a year) if it felt the proposed rules or regulations were inadequate or misguided⁽⁴⁷⁾. Of course, this body would be constrained by the knowledge that Congress could at any time abolish it (or change its powers), and its members would be removable by the President for cause and could serve no more than a specified term of years. Its real power would lie in its prestige, as its criticism should embarrass the agencies it criticized. Essentially, the proposal is to create a counterweight to lobbying pressure, as this would be a small, cohesive, well-informed (and well paid) body.

Besides commenting on proposed rules, this body could also be asked to comment on proposed plans submitted pursuant to the statute by covered institutions. For example, if a bank were required to submit its executive compensation and clawback policies to the Federal Reserve, they would be passed onto this body for its public

evaluation. It would not necessarily have the power to modify or delay, but its comments could help the regulator negotiate a stronger compromise (as the regulator could point to this body as insisting on a stronger policy). Often, regulators are being pushed only from one side and the proposal here is to ensure that there is counter-pressure when needed.

How powerful is prestige in a political world dominated by sound bites, 24-hour news cycles, and "alternative facts"? Skeptics can question this premise that prestige still counts, but this body's members would be nationally known, either for their expertise (think, Paul Volcker) or their commitment to the goals of the legislation (think, Barney Frank). The regulator – whether the Federal Reserve, the F.D.I.C. or the SEC – would not want to be in a public quarrel with it. Power also comes from financial resources, and this body could also be funded through industry assessments (much as FINRA or the F.D.I.C. are today), which all covered financial institutions would be required to pay. Thus, it would have adequate funding. This differentiates it from private groups. To be sure, private advocacy groups seeking to advocate strong systemic risk regulation are desirable and have arisen⁽⁴⁸⁾, but they have neither the prestige nor funding of this proposed body. Is this a panacea? By no means will such a body fully counter the power and impact of lobbyists, but it is a counterweight that could partially compensate.

Enlisting the Gatekeepers

The landscape of contemporary corporate governance is populated by a number of "gatekeepers," who are essentially reputational intermediaries who pledge their reputational capital to give credibility to their assessments to investors⁽⁴⁹⁾. Auditors verify past earnings; securities analysts predict future earnings; and credit rating agencies assess the company's creditworthiness. But no gatekeeper evaluates a large financial institution's vulnerability to systemic risk. That omission can and should be rectified.

One means to this end would begin by recognizing that a large financial institution's internal controls should focus on the financial institution's exposure to systemic risk. Today, these controls focus on the accuracy of its financial

(46) No position is here taken on whether senatorial confirmation should be necessary for the initial appointees. Obviously, many agencies have advisory boards whose members are not confirmed by the Senate, but this body would have power to delay the effectiveness of proposed agency rules and this might point to the need for Senate confirmation. Also, a requirement of senatorial confirmation might give this body greater prestige and visibility. To the extent that this body has any power, removal of its members for cause by the President (or perhaps the Federal Reserve Board) is probably constitutionally required. See *Free Enterprise Fund v. Pub. Co. Accounting Oversight Bd*, 561 U.S. 477 (2010).

(47) In this light, the members of this body would have to be subject to some conflict of interest rules.

(48) One such example is *Better Markets*, a non-profit organization founded after the 2008 crisis "to promote the public interest in the financial markets".

(49) For an overview of gatekeepers in corporate governance, see COFFEE John C., Jr., *Gatekeepers: The Professions and Corporate Governance* (Oxford University Press 2006).

statements and its exposure to fraud and misappropriation. Since the Sarbanes-Oxley Act in 2002, public companies (with some modest exceptions for smaller companies) are required by Section 404 of that Act to report on the adequacy of their internal controls, and Section 404(b), as interpreted by the Public Company Accounting Oversight Board, requires the auditor to audit these controls, reporting on their adequacy⁽⁵⁰⁾.

The next step is the key one. A financial institution's internal controls should guard it not only from the overstatement of earnings or the misappropriation of assets, but from a systemic risk crisis. What would such internal controls look like? They might include constraints on "excessive compensation" and incentive compensation that could lead to "material losses" – just as Section 956 of the Dodd-Frank Act mandated. Although Section 956 has been ignored, a body such as the PCAOB could require the auditor to express its view on whether the financial institution had adequate policies and procedures to address systemic risk. To be sure, this will not happen during the Trump Administration, but our vision has to extend beyond that point. If the concept of internal controls is to make sense and be relevant, it has to encompass not only protections against small errors in financial reporting, but also major inadequacies (such as exposure to a systemic risk) that could ignite a major financial crisis. Ideally, future legislation could instruct the SEC and the PCAOB to insist that certain issuers (i.e., largely major financial institutions) design their internal controls to address this issue and that auditors assess and report on the adequacy of these controls. Even in the absence of new legislation however, a future PCAOB could focus auditors on this issue.

Conclusion

The last decade has seen the Regulatory Sine Curve follow its customary path in the U.S., and even more quickly than usual. This speed may be partially attributable to the appearance of Donald Trump – clearly a disruptive personality eager to junk existing law and favoring massive, even chaotic, deregulation. Nonetheless, it would overstate to accord him the primary role in the recent retreat from strong systemic risk regulation. The Economic Growth, Regulatory Relief and Consumer Protection Act, enacted by Congress in 2018⁽⁵¹⁾, was designed in Congress with little direct involvement by the President. Nor does that

statute repeal the Dodd-Frank Act (or take other severe action of the kind that President Trump usually favors). At most, it represents the beginning of a death by one thousand cuts, which is the classic pattern.

Also, the most important defeat for systemic risk regulation came before President Trump's election: the failure to implement Section 956 of the Dodd-Frank Act and curb incentive compensation at major financial institutions. Absent such a reform, everything else may amount to little more than re-arranging the deck chairs on the Titanic. So long as financial executives are incentivized by the high octane fuel of high incentive compensation, they will focus on the short-run tactics that maximize that compensation. That best explains the 2008 crisis, and in time may explain the next crisis.

Europe, however, presents a different story. The Regulatory Sine Curve has not been as evident, and Europe seems interested today in developing a serious pan-European enforcement presence. Possibly, this is because Europe is better insulated from the power of the special interest groups that have pushed deregulation in the U.S. Alternatively, Europe may be too absorbed with the battle over Brexit to pay attention to other matters. Still a last possibility is that, although the pace of the Regulatory Sine Curve has been slower in Europe, it may not have yet run its full course. This is the most ominous possibility: the movement toward deregulation may just be beginning in Europe. If so, then systemic risk regulation could still be curbed or unwound in Europe also. The future is thus uncertain, and this story has not yet ended.

(50) Under Section 404(a) of the Sarbanes-Oxley Act, management must first provide an "internal control report" as part of the company's Annual Report on Form 10-K, which must contain "an assessment of the effectiveness of the internal control structure and procedures of the issuer for financial reporting". Then, under Section 404(b), the auditor "shall attest to, and report on, the assessment made by the management of the issuer". Section 404(b) further provides that this assessment shall be "made in accordance with standards for attestation engagements issued by the" PCAOB (which required a full audit for this assessment). Section 404 of Sarbanes-Oxley has been codified at 15 U.S.C. Section 7262.

(51) See text and note supra at note 32.

Delegating Regulation: European Union and Financial Markets

By Dr. Sharyn O'HALLORAN

Columbia University

Karen CHEN, Rudra M Guha BISWAS, Hoon KIM, Pu LIU, YouFei ZHANG and YunPeng ZHOU

This paper analyzes the design of financial regulatory structure in the European Union. We develop a two-pronged approach to track changes in decision-making authority in EU financial market regulations and directives enacted from 1964 to the present. Traditional observational data collection methods manually code laws to identify the amount of discretionary authority delegated to regulatory bodies that oversee segments of financial markets. The lack of robustness and scalability of this approach, however, may limit the generalizability of observational studies. To remedy these potential shortcomings, we match observational methods with data science techniques, in particular natural language processing, to visualize complex patterns in the text of laws and temporal movements. The combination of both observational and computational approaches provides more detailed insights of the various elements of financial regulatory structure and the temporal allocation of decision-making authority among the European Commission, regulatory agencies and the Members States. Our analysis indicates that both the scope and location of decision-making authority shifted over time, moving from Member States to EU regulatory agencies. The amount of discretionary authority delegated to EU agencies to implement regulations, on the other hand, has remained largely unchanged.

Introduction

After the 2007-09 global financial crisis government-led assessments on both sides of the Atlantic concluded that financial institutions took inordinate risks leading up to the crisis, at least in part, caused by lax oversight, or what the British referred to as “light touch” regulation⁽¹⁾. Without a doubt, many played a role in the economic collapse, including hedge funds, traditional banks, mortgage lenders, ratings agencies, and borrowers themselves. Ultimately, excessive bank risk-taking and regulatory agencies’ failure to curb them brought down the global economy.

Predictably, governments responded with a number of reforms to strengthen financial regulation. In the United States, the Dodd Frank Wall Street Reform and Consumer Protection Act increased capital reserve requirements for Significant Important Financial Institutions (SIFIs), annual stress tests to ensure that banks hold sufficient shock-absorbing capital to withstand market downturns, and living wills for the orderly resolution of insolvent banks. Legislation also introduced corporate governance reforms that regulated executive compensation and board oversight, with the aim to aligning risk and reward incentive struc-

tures. These included claw backs, shareholder “Say on Pay”, majority voting on director elections, disclosure on pay ratios, and independent compensation committees, to name a few. A comparison of EU and US post-crisis reforms shows that similar reforms were adopted in Europe, although at a somewhat later date⁽²⁾.

But with the introduction of these reforms has financial regulation strengthened in the decade following the financial crisis? This poses a necessary question: what does good financial regulation entail? Once good regulation can be defined, how is it implemented? And how can such regulation be enforced and monitored?

This paper analyzes financial regulatory structure in the European Union. We focus on one aspect of regulatory design: the amount of discretionary authority delegated to regulatory authorities to set policy. Over time, and especially since the crisis, the EU as a governing body has

(1) WALKER (2009) and Financial Crisis Inquiry Commission (2011).

(2) Indeed, a comparison shows that of the recommendations suggested by various post-crisis commissions, the US has adopted only five out sixteen while the EU has adopted fifteen out of sixteen.

taken on an increasingly central role in setting regulatory standards, especially in financial and commercial policy. Yet EU governance is not monolithic: the European Commission, the Parliament, regulatory agencies, and Member States all play important, albeit changing, roles.

We examine changes in the location and scope of EU financial regulatory authority overtime. Most of the related work developed in the American context⁽³⁾, and therefore we present data on U.S. financial regulation trends since 1950 as a benchmark. We adopt a dual approach to analyze the sixty-nine European Union financial regulation laws enacted since 1964 to the present day. First, we detail the rubric used to manually code legal texts (regulations and directives) and present the resulting descriptive summaries of the observational data. Second, we introduce the computational techniques employed to analyze the documents. In particular, natural language processing provides a method to analyze text, words and phrases to display trends in the scope of issues and the allocation of decision-making authority overtime. The last section concludes with suggestions for interpretation of our findings for effective regulatory structure and the changing nature of EU decision-making.

Delegation and Discretion in Financial Market Regulation

What explains the structure of financial regulation? Where, how, and by whom policy is made significantly impacts market outcomes. When designing financial regulation laws, Congress specifies the rules and procedures that govern executive actions. The key is how much discretionary decision-making authority Congress delegates to regulatory agencies. In some cases, Congress delegates broad authority, such as mandating the Federal Reserve to ensure the “safety and soundness” of the financial system. Other times, Congress delegates limited authority, such as specifying interest rate caps on bank deposits.

A recurring theme in the political economy literature of regulatory design is that the structure of policy making is endogenous to the political environment in which it operates⁽⁴⁾. Epstein and O’Halloran (1999) show that Congress delegates policymaking authority to regulatory agencies when the policy preferences of Congress and the executive are closely aligned, policy uncertainty is low, and the cost (political and otherwise) of Congress setting policy itself is high⁽⁵⁾. Conflict arises because of a downstream moral hazard problem⁽⁶⁾.

Application of these theoretical insights to financial regulation is well-motivated. Banking is a complex policy area in which bureaucratic expertise is valuable, and market innovation makes outcomes uncertain. Morgan (2002), for instance, shows that rating agencies disagree significantly more over banks and insurance companies than over other types of firms. Furthermore, continual innovation in the financial sector means that older regulations become less effective, or “decay”, over time. If it did not delegate authority in this area, Congress would have to continually pass new legislation to deal with new forms of financial

firms and products, which it has shown neither the ability nor inclination to do. Overall, then, the literature leads the following testable hypotheses: Congress delegates more discretion when: 1) The preferences of the president and Congress are more similar; and 2) Uncertainty over market outcomes (moral hazard) is higher.

Regulatory Design and Financial Markets

O’Halloran (1999) and O’Halloran *et al.* (2015, 2016, 2017) details the overall architecture of regulation in the US. The current paper extends this approach to EU financial regulation, where additional challenges await: 1) EU Member States do have a pre-EU history which must be taken into account in the long run, and 2) Translation of EU directives into national regulatory frameworks is not straightforward, as Member States could either strengthen EU provisions (‘gold plating’) or downplay them.

One of the keys to effective regulatory design is the amount of discretionary authority delegated to agencies to oversee and shape public policy. Over the last two decades, and especially since the crisis, there has been a growing perception that the European Union as a governing body has taken an increasingly centralized role in setting regulatory standards, especially in financial and commercial policy. Yet has the move toward centralized decision-making lodged authority within the European Commission or, as others suggests, emerging regulatory agencies or, as even further suggested, EU governance is irrelevant as the Member States still implement laws?

Delegation in the European Union and United States

Delegation of powers in the European Union differs from how authority is delegated in the United States. In the United States, Congress enacts laws and then delegates varying levels of discretionary powers directly to financial regulatory agencies, which are divided along functional lines. For example, in 1929 in the wake of the Stock Market crash and, Congress created the Securities and Exchange Commission (SEC) and delegated to the new agency the authority to regulate the securities markets, including securities markets and products. Congress

(3) Recent applications of this approach have been applied to comparative analysis of US antitrust laws.

(4) For early work in this area, see, for example, MCCUBBINS and SCHWARTZ (1984, 165-179); MCCUBBINS, NOLL and WEINGAST (1987, 243-277); MCCUBBINS, NOLL and WEINGAST (1989, 431-482); and EPSTEIN and O’HALLORAN (1994, 697-722).

(5) EPSTEIN and O’HALLORAN (1999).

(6) Excellent technical work on the optimal type of discretion to offer agencies is provided by Melumad and Shibano (1991, 173-198); Alonso and Matouschek (2008, 259-293), and Gailmard (2009, 161-186). A series of studies examines the politics of delegation with an executive veto (VOLDEN (2002, 111-133)); civil service protections for bureaucrats (GAILMARD and PATTY (2007, 873-889); GAILMARD and PATTY (2012, 353-377)), and executive review of proposed regulations (WISEMAN (2009, 998-1014)), among others. See also BENDOR and MEIROWITZ (2004, 293-310), for contributions to the spatial model of delegation, and VOLDEN and WISEMAN (2009). SCHICKLER and LEE (2011, 36-65), for an overview of the development of this literature.

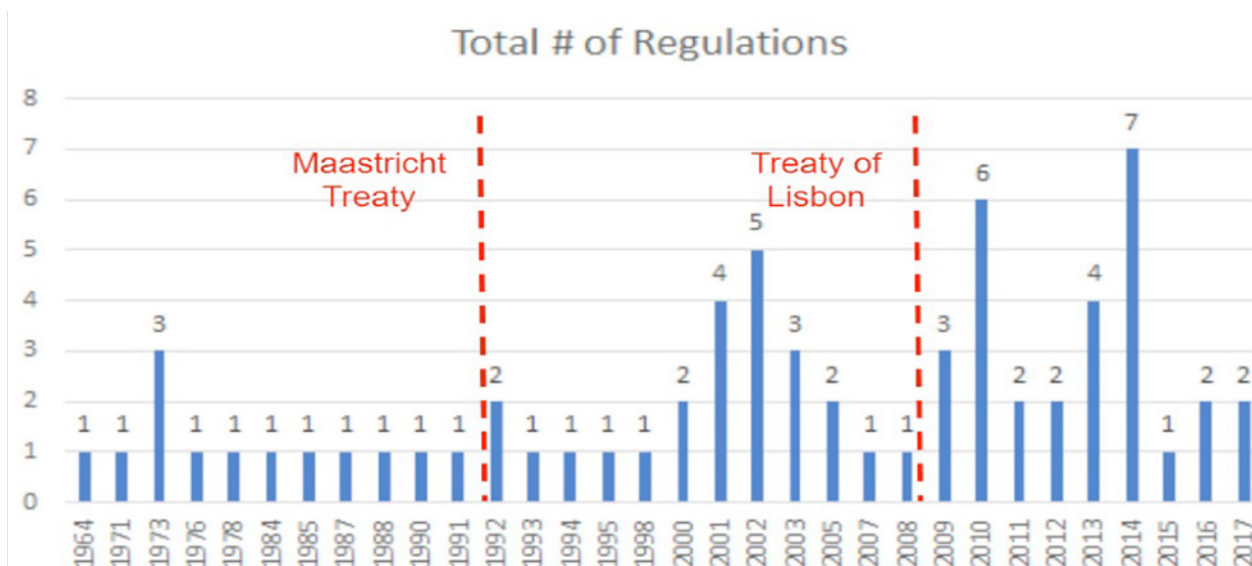


Figure 1: Total Number of Financial Regulation Legislation Enacted, 1964-2017.

created the Commodity Futures Trading Commission (CFTC) in 1974 to regulate commodities and options markets, areas that fell outside of the SEC jurisdiction. In the Dodd-Frank Act that Congress passed in the wake of the 2007-09 mortgage meltdown, expanded the powers of the CTFC to regulate over-the-counter derivatives and Credit Default Swaps (CDS) and other complex financial instruments largely blamed for the collapse of the global markets (LABONTE, 2017).

The European Union, on the other hand, has multiple institutions responsible for decision-making. The European Parliament represents the EU's citizens and is directly elected by them; the Council, which represents the governments of the EU Member States; and the European Commission, which represents the interests of the EU as a whole. In general, it is the European Commission that proposes new laws and it is the European Parliament and Council that adopt them. The Member States, the Commission and regulatory agencies then implement these laws (EUROPEAN COMMISSION, 2012).

The European Commission has a leading role in legislation in the financial sector at the EU level specifically. It organizes the EU wide operation of the financial sector and has the right to initiate financial regulation in many financial service areas. It shares competence with Member States to enact legislation in this area with the primary goal of creating a single market in the EU as a method to increase efficiency and create jobs.

EU agencies are governed by EU public law, but are distinct from other EU institutions and have their own legal personality. There are three supervisory bodies that help to enforce rules for financial institutions and ultimately preserve the stability of Europe's financial system today: the European Banking Authority (EBA), the European Insurance and Occupational Pensions Authority (EIOPA), and the European Securities and Markets Authority (ESMA) (EUROPEAN COMMISSION, 2012).

EU Financial Market Regulation

To track changes in the scope and location of EU decision-making, we identify, encode and characterize EU financial legislation from 1964 to present day. These data provide a means to assess EU convergence and to compare EU and US in a long-term perspective. We employ a two-pronged methodological approach to identify patterns of how decision-making is conducted in the EU. Traditional coding methods of these laws provide an understanding of the changes in discretionary authority across segments of financial markets and over time. We adopt data science techniques, in particular natural language processing, to visualize complex patterns in the text and its temporal movements. The combination of these two approaches provides more detailed insights of the various elements of financial regulatory structure and the allocation of decision-making authority amongst the European Commission, regulatory agencies and the Members States.

Regulations and Directives

We analyze all EU directives and regulations related to financial regulation starting from 1964 to 2017. The analysis focuses on a detailed study of EU policies initiatives that concentrate 90% or more of the activity or content of the legislation on the financial sector. In total, there are 69 total such legislation and are accessible from the Official Website of the European Union in both PDF and HTML formats for manual coding and Natural Language Process analysis respectively. The full list of regulations and directives analyzed is stated in *Appendix B*.

The primary types of legislation analyzed in this paper are regulations and directives. Regulations are laws that are applicable and binding to all Member States. They do not need to be passed into national law by the Member States to ensure uniform application of Union law to all Member States. Regulations take precedence over national law

where there are conflicts. Directives, on the other hand, have goals that are to be achieved separately by any or all the Member States to whom they are addressed. It is the responsibility of the national authorities to specify the form and method of how the goal is achieved. Legislators from each Member State must adopt a transposing act to transpose directives and bring national law into line (BUX, 2018).

Trends in Financial Regulation Legislation Enacted

We initiated our analysis by identifying the number of financial market legislation enacted annually from 1964 to 2017. *Figure 1* shows the progression of legislative enactments.

We delineate the data into three periods, prior to 1992 and after 2009. Both the Maastricht Treaty, signed in 1992, and The Treaty of Lisbon, entered into force in 2009, act as gateways towards the enactment of major changes in EU governance. The exact years in each period, the number of regulations in each period and the description is indicated in *Table 1*. Legislation is not separated in this analysis by financial crises but they were evaluated for impacts and trends.

Figure 1 shows that significantly more legislative acts passed following each Treaty, as compared to the previous time period. The greatest amount of legislation was enacted in 2014, when seven pieces of financial market regulation laws passed, followed by 2010, when six were enacted.

Years	# of Regulations	Description
1964 - 2017	69	Entire Period
1964 - 1991	15	Pre-Maastricht Treaty
1992 - 2008	24	Post-Maastricht Treaty
2009 - 2017	30	Post-Treaty of Lisbon

Table 1: The Number of Financial Regulations and Directives Enacted, by Time Period.

Observational Data: Manual Coding Delegation and Discretion

One of the goals of the project is to develop protocols for coding financial legislation (or any legislation) across legal jurisdictions. The robustness of the instrument will be tested using Natural Language Processing (NLP) that produce best results on automatically classifying laws/directives into various codes/labels and inducing best structured representation of sentences for various types of computational analysis. Besides developing best-case algorithms, the research will provide standardized coding labels for comparative financial regulatory policy, setting the basis for testing the impact of alternative regulatory regimes on competition policy and financial inclusion.

The paper refines a scalable methodology and algorithms first used to analyze U.S. financial regulatory policy to code other European financial laws, based on similarly structured materials. The research employs both an observational study similar to those in Epstein and O'Halloran (1999) as well as data science techniques akin to those

employed in O'Halloran *et al.* (2016). This research illustrates that while manual coding more accurately predicts agency structure than unstructured text analysis alone, combining both predefined rule-based methods with computational data science techniques offers a more precise interpretation of the determinants of financial regulatory structure.

Coding Rules

A set of coding rules was constructed with reference to O'Halloran *et al.*'s (2016) previous studies, adjusting to specific characteristics of European Union financial institutions. These rules allow for the standardization of what constitutes delegation as well as provide the ability to sort various types of procedural constraints into categories for further analysis.

Detailed data was recorded in a database that stored the results of the manual coding exercise and to help carry out further descriptive analysis. Additional data collected include the specific financial areas that each law targeted, and the EU agencies receiving delegated authority.

In following the methodology developed in O'Halloran *et al.* (2016), each Regulation or Directive was manually reviewed to identify the total number of provisions in the text. A key rule in this process is that each article counts as one provision, unless it contained subsections, in which case each subsection counts as one provision. For the specific methodology and related examples, please refer to *Appendix A*. The total number of provisions in the financial laws ranges from two to 1641.

Delegation

Delegation as defined by O'Halloran *et al.* (2016) is authority granted to an executive branch to move policy away from the status quo. Typical examples of delegation include: The authorization of a new program, discretion to modify decision-making criteria, and the right to issue waivers. In specific, the Federal Deposit Insurance Act of 1950 in the United States, for example, authorized the Federal Deposit Insurance Corporation to insure individual bank deposits up to \$10,000, increased from \$5,000 previously. Under our definition, this is considered as increased delegation of authority.

Based on the methodology detailed previously, *Figure 2* maps the total number of provisions in the financial regulations that delegate authority to a given body per year. In general, prior to the Maastricht Treaty, EU legislation delegated little authority: Regulations and directives tended to be specific and details, narrowly tailored to a given sector, product or participant of financial markets. After 1992, the volume of EU legislation increased, coinciding with an increase in the amount of authority delegated. The most significant increase occurs after 2009. While some of this increase is attributed to the increased number of legislation enacted, it is evident the total number of provisions that delegate authority have increased per number of legislation as well and this is true even when the total number of provisions are taken into account.

Total # of Delegations

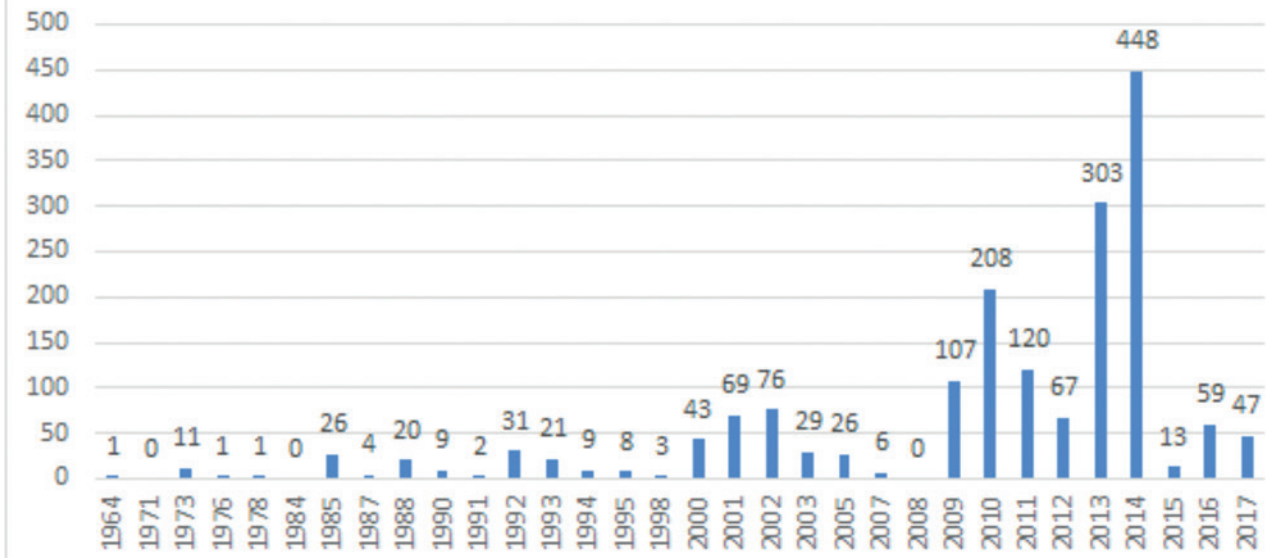


Figure 2: The Number of Delegations by Year, 1964 to 2017.

The year 2014 had the largest amount of financial regulation legislation passed, but it is also the year with the most number of delegations. This year in particular is the establishment of European supranational agencies. Of note, regulations with the most authority delegated in each sub-period are generally on the subject of regulating capital market institutions.

As previously defined, delegation in the EU is given to: Member States, agencies, and the Commission on an annual basis. Through our database, we analyze changes in delegation in the time periods indicated earlier. The year 2008 is found to be the inflection point in the number and type of delegation given in EU legislation. *Figure 3* shows that in the pre-2008 period, delegated authority mainly resided with Member States while only a relatively small amount of authority was granted to the Commission and agencies.

This trend is in stark contrast to post-2008. Starting in 2009, EU regulations and directives delegated decision-making authority primarily to the Commission and

the various agencies. In fact, the ratio of financial regulation laws that ceded authority to the Commission and agencies almost doubled that given to Member States, thus indicating a dramatic shift in the location delegated authority. The pursuant distribution of decision-making authority suggests a deeper collaboration among the three competent bodies regarding the oversight and regulation of financial markets. The change in governance structure also suggests that greater authority and flexibility to set policy shifted to the EU as a whole. On an absolute basis and over the entire time period, however, Member States still retained the majority of delegated authority.

Procedural Constraints

On the other hand, constraints, the procedural and administrative restrictions circumscribing these delegated actions, also increased. When an agency is required to report its decisions or rulemaking the Congress before the actions could be taken, exemplifies a procedural constraint. For example, the International Money Laundering Abatement and Financial Anti-Terrorism Act requires



Figure 3: Provisions that Delegated Authority to the Commission, Agencies, and Member States by Year, 1964 to 2017.

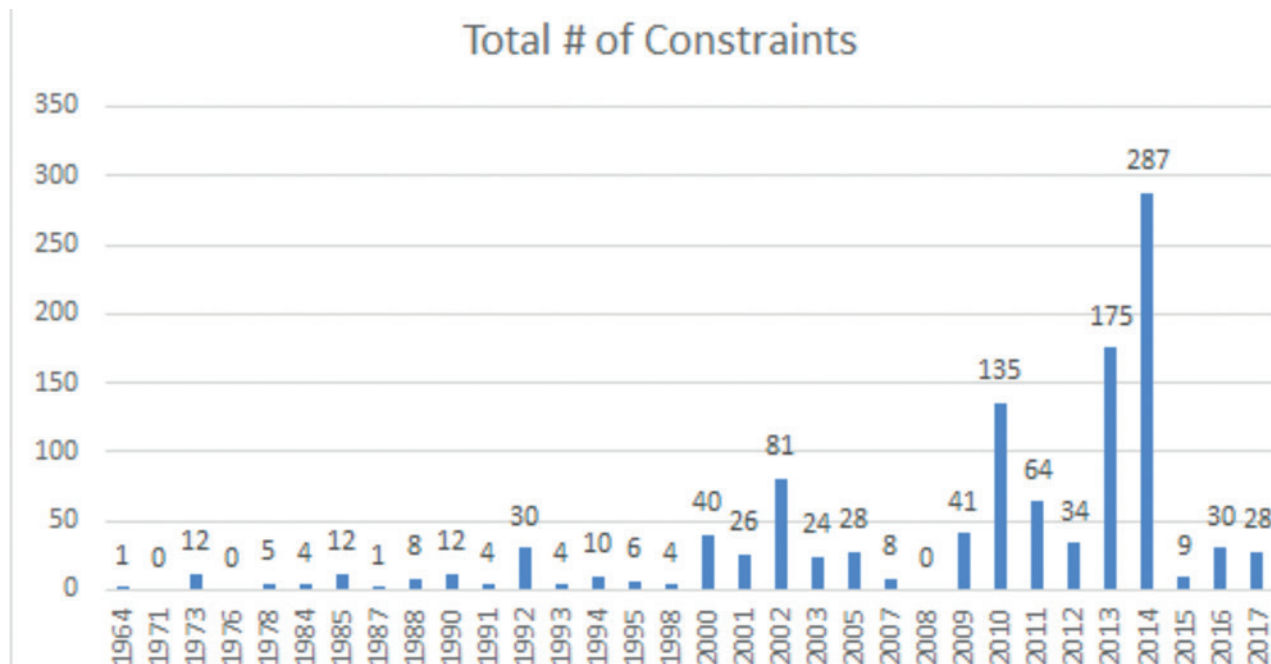


Figure 4: The Number of Constraints by Year, 1964 to 2017.

the Treasury Secretary to report to Congress on the most effective way to verify the identities of foreigners opening accounts in US financial institutions and assign them ID numbers that work like tax ID numbers given to citizens. This is an instance of reporting constraints on delegated authority.

The data indicates that the number of constraints per year mirrors the trend of delegations; the analysis shows a slight increase in the 1992-2008 period and a sharp rise following 2009. Similar to the data on delegated authority, the year 2014 saw the highest number of constraints prescribed to limit authority. The raw number of constraints given in each year is generally lower than the level of delegation for the same year.

Unlike delegations, however, the distribution pattern of constraints to Member States, the Commission, and Agencies is relatively constant over the entire period, with the vast majority of constraints imposed on Member States, who also receive the lion share of delegated authority. The data does not show a major shift in constraints from Member States to Agencies or the Commission during the three periods defined. The data does indicate, however, that there has been a shift in regulatory authority from Member States to the EU by way of the Commission and the various agencies.

Regulatory Discretion

Agency discretion depends on both delegation and the associated limits on authority. That is, discretion depends not only on the amount of authority delegated but also on the procedural constraints prescribed to the use of that authority. The effects of delegation and constraints on the discretion differ; delegation positively affects discretion whereas constraints are negatively linked with the discre-

tion. The more discretion an agency has to set policy, the greater the leeway it has to regulate market participants. Therefore, total discretion is defined as delegation minus constraint, the amount of unconstrained authority delegated to agents (O'HALLORAN *et al.*, 2016) ⁽⁷⁾.

With the number of delegations and constraints available, a discretion index was calculated. This index is based on the methodology of O'Halloran *et al.* (2016). We posited that the amount of delegation provided to the Member States, Agencies and the Commission is tempered by the number of constraints enforced upon them by year. Hence, we created a discretion index using the following calculation:

$$Discretion = \left\{ \frac{\text{The Number of Delegations}}{\text{The Number of Provisions}} \right\} \times \left\{ 1 - \frac{\text{The Number of constraints}}{\text{The Number of provisions}} \right\}$$

Figure 5 shows the discretion index results and affords us the opportunity to gain a clearer picture of the evolution in discretion. Of note, the index calculates total discretion from the number of provisions that delegated authority to competent bodies and the constraints imposed on the use of this authority. The analysis does not separate delegation and constraints given to an Agency, Commission or Member States separately to maintain robustness of the data. Through our calculations, the highest amount of discretion occurs in 1993, with a discretion index of 0.25. There are periods where no discretion is given in the legislation. Most discretion levels vary, ranging from 0.08 to 0.22.

Several major financial crises were included to see if legislative discretion changed following these events, as

(7) A number of different ways have been explored to calculate discretion, including factor analysis. For the most part, each variation yields similar results.

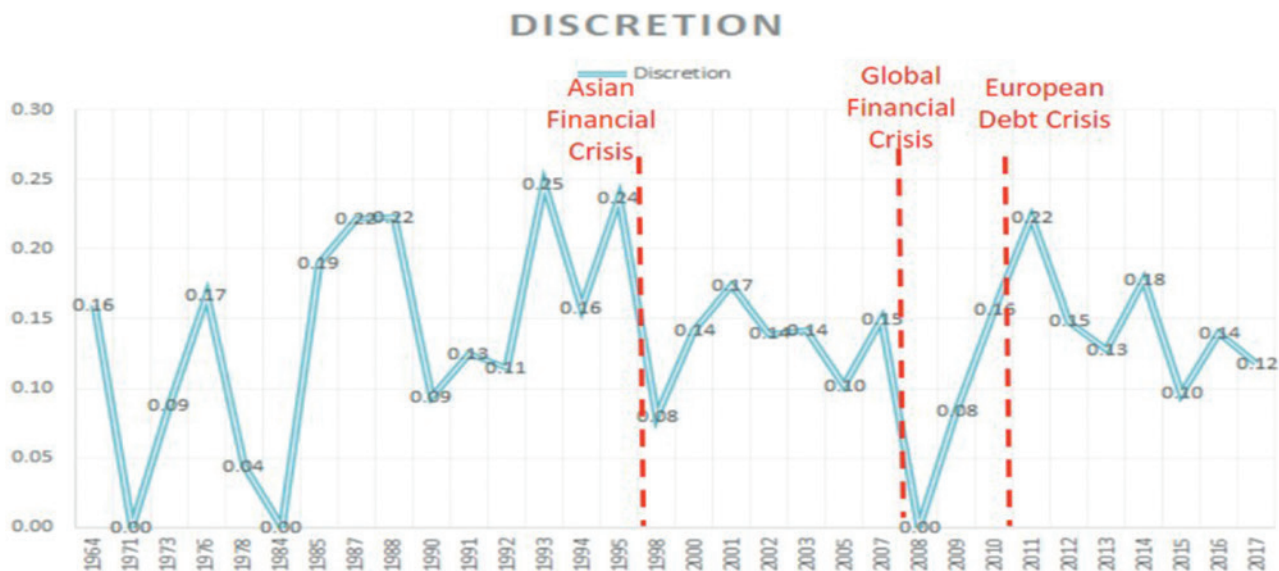


Figure 5: EU Financial Regulation Laws Discretion Index, 1964-2017.

was the class with treaties. The trend did not indicate a singular type of discretion response to financial crises nor a trend of discretion levels preceding a crisis. The magnitude of change in discretion is also not uniform.

From this total index, it is evident that there was a sharp increase in the total amount of authority delegated in the post-Treaty of Lisbon period, in particular the year 2014. Yet this delegation has been accompanied by a corresponding increase in the level of constraints imposed on decision-making, and thus tempered the total level of discretion granted in each year. As a result, discretion in the later period has not expanded to significant levels, as many initially believed, simply from the length and complexity of legislation enacted alone.

Computational Data Methods

Manually coding banking and financial service laws requires aggregating measures from thousands of pages of text-based data sources with tens of thousands of provisions, containing millions of words. Such a large-scale manual data-tagging project is time consuming, expensive and subject to potential measurement error. To overcome these limitations, we refine a scalable methodology first used to analyze U.S. financial regulatory policy to code other European financial laws, based on similarly structured materials. The data science technique employed is akin to those developed in O'Halloran *et al.* (2016).

As an illustration, let us consider the example of the U.S. Dodd-Frank Wall Street Reform and Consumer Protection Act of 2010, which covers the activities financial institutions can undertake, how these institutions will be regulated, and the regulatory architecture itself. The law contains 686 major provisions, of which 322 laws delegated authority to some 46 federal agencies. In addition, the Act has a total of 341 administrative procedural constraints across 11 different categories, with 22 new agencies cre-

ated. If we manually process the text of this law, data annotators, trained in political economy theories, would read and code the provisions based on the rulebook provided. In effect, coders would have to read 30,000 words, the length of many English novels. In addition, we cannot ensure that the coding rules identify all significant policy features in the laws or that annotators identify all relevant combinations of policy instruments that impact financial markets under various scenarios. To mitigate these limitations of observation studies, we adopt data science techniques to automatically classify and rank laws, thereby providing robustness check on manual coding.

Natural Language Processing

Natural Language Processing (NLP) is a prominent research area in artificial intelligence. It allows computers to analyze, understand and derive meaning from human text in an unbiased and useful way. NLP can check the robustness of the manual coding tools developed above and can provide additional insights to the regulatory structure that are limited by manual coding (O'HALLORAN *et al.*, 2016). NLP summarizes blocks of text, reveals clusters of related terms and provides network mapping of terms and concepts, identify word frequency, extract terms by grammar, identify the type of entity extracted, reduce words to their roots via a tokenizer, among many other functions (KISER, 2016).

To check the robustness of the manual coding tools can provide insights to the regulatory structure that are limited by manual coding (O'HALLORAN *et al.*, 2016). Natural Language Processing (NLP) analysis was conducted on the same set of financial regulations to illustrate how these more robust tools can provide insights to the regulatory structure that are limited by manual coding (O'HALLORAN *et al.*, 2016). NLP provides us with the opportunity to quantitatively, and from an unbiased perspective, analyze how these regulations have transformed over time. We

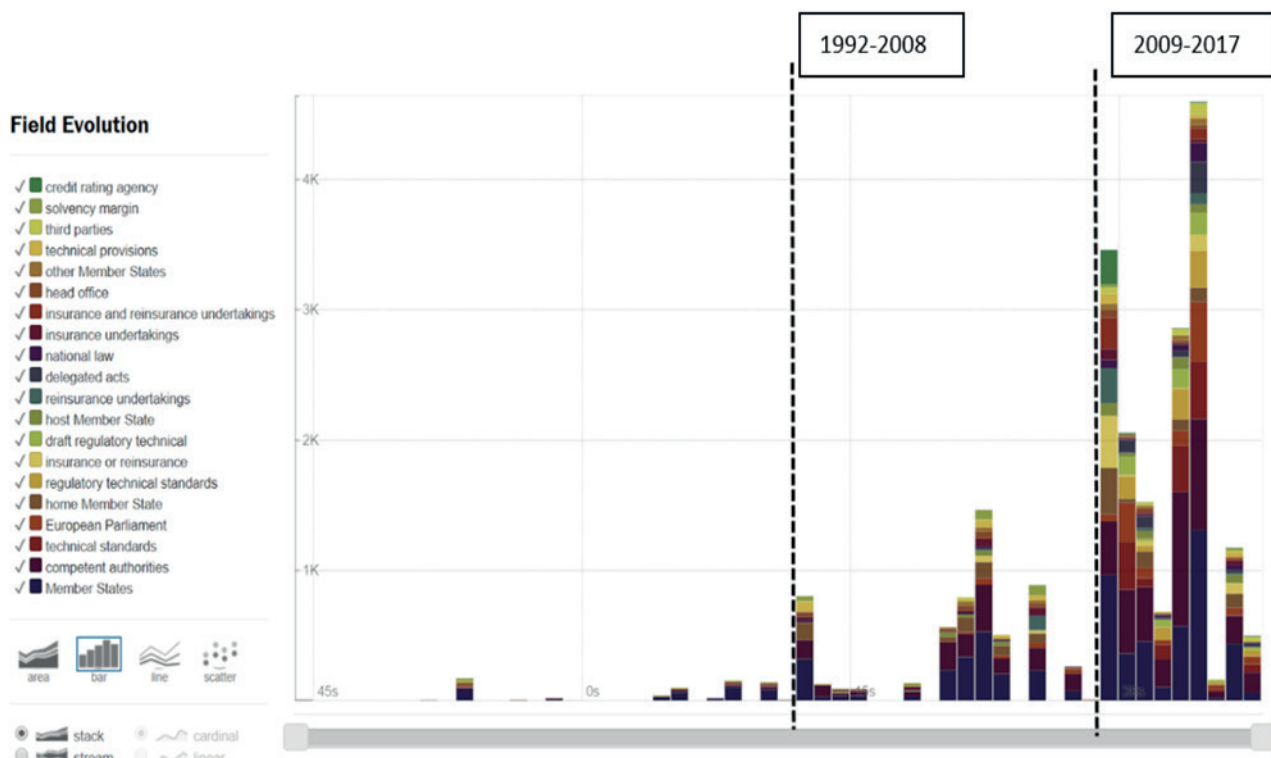


Figure 6: Frequency Distribution of Top Twenty Terms, 1964-2017.

also seek to view various connections of these legislations unavailable to us manually. The combined examination of these financial regulations will offer more avenues to explore how changes in regulatory structure has changed. The two main analysis conducted is frequency distribution over time, and networking mapping.

To visualize and analyze the compiled text files, we used *Cortext* Manager, a digital platform powered by INRA (French National Institute for Agricultural Research) with support by LabEx in France. This platform allows us to upload the text corpus of the financial regulations and then perform scripted analysis⁽⁸⁾. To see the progression of the financial regulations through this manner, we decided to review the regulations in the four periods divided in the manual coding section of the paper.

There are several key components to preparing text that *Cortext* inherently is able to perform for the end user. These include *Parts-of-Speech* tagging, which first identifies each word by part of speech such as noun, verb, adjective, etc., and *Chunking*, which helps to identify phrases. Following is *Normalization*, which corrects small differences in words with hyphens. Last is *Stemming* which gathers the words together if they share the same stem. For example, 'credit rating agency' and 'ratings agencies or credit' are normalized to the same main form (*Cortext* Documentation Manager, 2018).

The text data was further cleaned of footnotes without substantial substance. For example, footnotes that refer to Official Journal locations such as (OJ L 322, 17.12.1977, p. 30) were removed. Annexes that were primarily tables with significant whitespace was removed to maintain the

structure of the text. Numbers and dates remained untouched in the text. For this analysis, we viewed only "noun phrase" terms with maximum words per phrase as three, the basic settings in *Cortext*.

Distribution of Scope and Location of Authority

To understand the words most prevalent in these financial regulations, we reviewed the distribution of the top 20 most frequently appeared noun phrases in the sixty-nine legal documents reviewed over the three time periods previously identified.

Figure 6 provides a snapshot of the distribution over the entire time period. We have included separated time breaks, which indicate the Maastricht Treaty and the Treaty of Lisbon. The X-axis of *Figure 6* denotes time, while the Y-axis denotes total frequency. The legend provides the word with its color reference. The most frequently occurring word is shown at the bottom of the graph.

The shape of this graph mirrors the observational data collected by manual coding. The pre-1992 time period exhibits a lower word count than the later periods, reflecting the degree of complexity of the legislation. This corresponds to the lower word count in general of these regulations. The peak comes from 2014 regulations with the combined word count reaching upwards of 4,000. This mirrors the large number of regulations passed in that period as well as the greater degree of delegation and pro-

(8) A detailed description of the methodology is provided in the Appendix A.

cedural constraints seen in the manual coding section of this paper and the high total word count. From this data, the most populous words are ‘competent authorities’ and ‘Member States’.

To further understand this change, we analyzed how these top words have changed in significance over time through these 3 periods: 1964-1991, 1992-2008 and 2009-2017. The X-axis of *Figure 7* denotes the different time periods with 0 being 1964-1991 and 2 being 2009-2017. The Y-axis are the various word phrases. ‘Member States’ remains the most prominent word phrase in this period, followed closely by ‘competent authorities’. The introduction of “regulatory technical standards” has ballooned the frequency of this phrase in the post-Treaty of Lisbon period indicating a focus on these standards.

Network Mapping

To understand how words in these regulations relate to each other, we turn to Network Mapping. The top 100 noun terms that were previously extracted in each period are mapped to see the structure and dynamics of the corpus. The nodes, or word phrases, are defined by its co-occurrence or frequency. Larger nodes represent higher frequency in the text. The *Cortext* script is able to link various phrases accordingly. Below are the graphs for each time period. The map legend shows the main themes of the nodes and cluster (*Cortext* Documentation Manager, 2018).

Reviewing these maps over time provides another picture of the change in complexity and focus of financial regulations as is evident by the three panels. In Panel A, the pre-1992 period, the clusters are relatively distinct and the number of distinct clusters minimal at only four. Phrases relate closely to their cluster which suggests that the topics are not interrelated to one another. The limited number of clusters suggests the topics encompassed in financial regulation at that time were similarly limited in scope.

In Panel B, 1992-2008, the network map dramatically changes. Here, the map moves from four to eight distinct clusters and the phrases are much more interconnected. This suggests the topics of these legislations have become more complex and not as focused to singular topics as they once were. This reflects the growing range of topics of financial regulation.

After 2009, the map simplifies slightly. The clusters reduce to seven and there are more distinct clusters akin to the pre-1992 network map. Seemingly, the legislation is now more focused. As seen in the frequency analysis, ‘regulatory technical standards’ becomes an increasingly important node in this period as does ‘supervisory authority’ which constitutes a major cluster on this map indicating a shift in focus on these topics.

The shape of these maps could have significant implications on optimal regulatory design moving forward. Further analysis could provide insights to which map shape

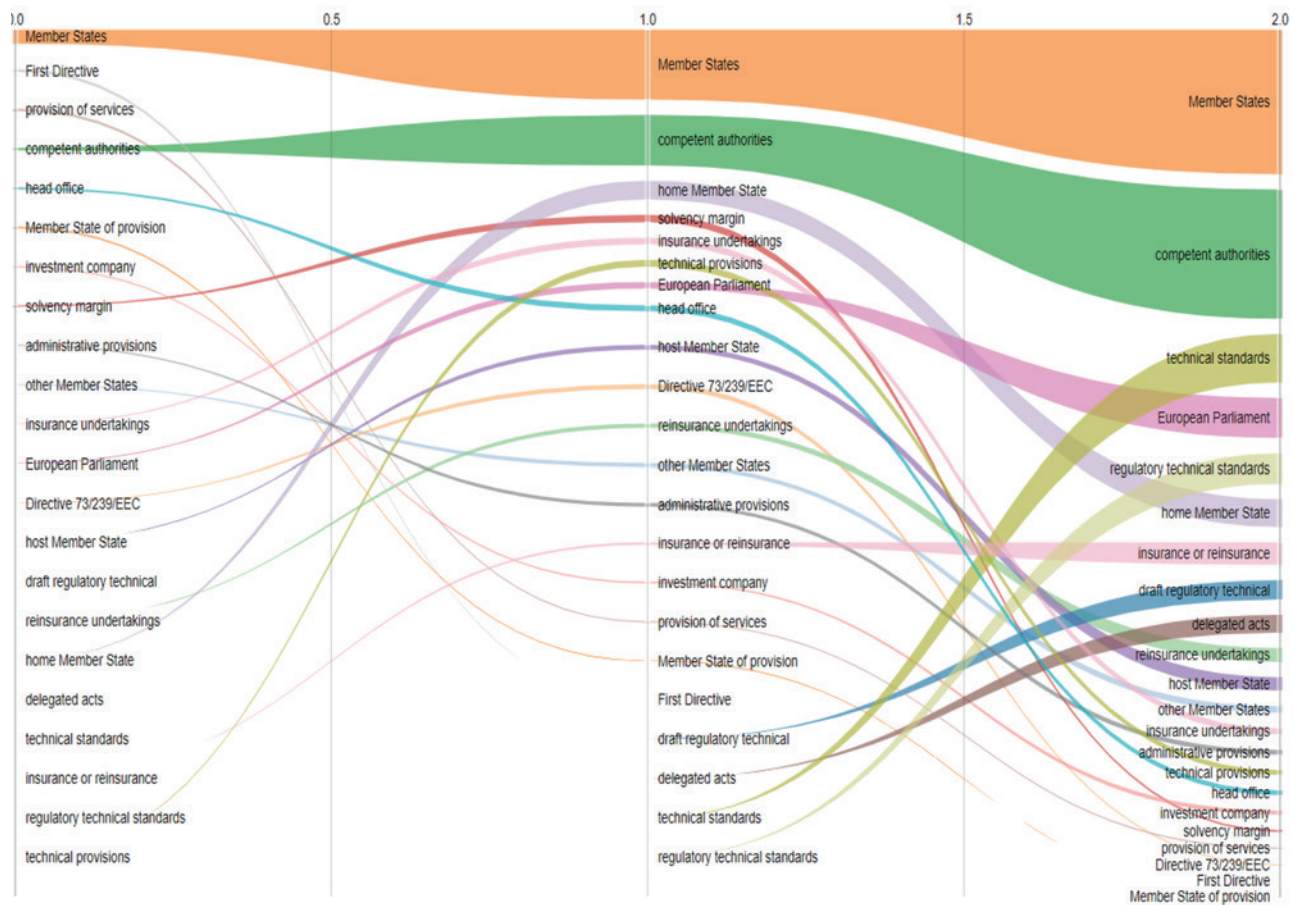


Figure 7: Changes of Top Ten Terms Over Time, 1964-2017.

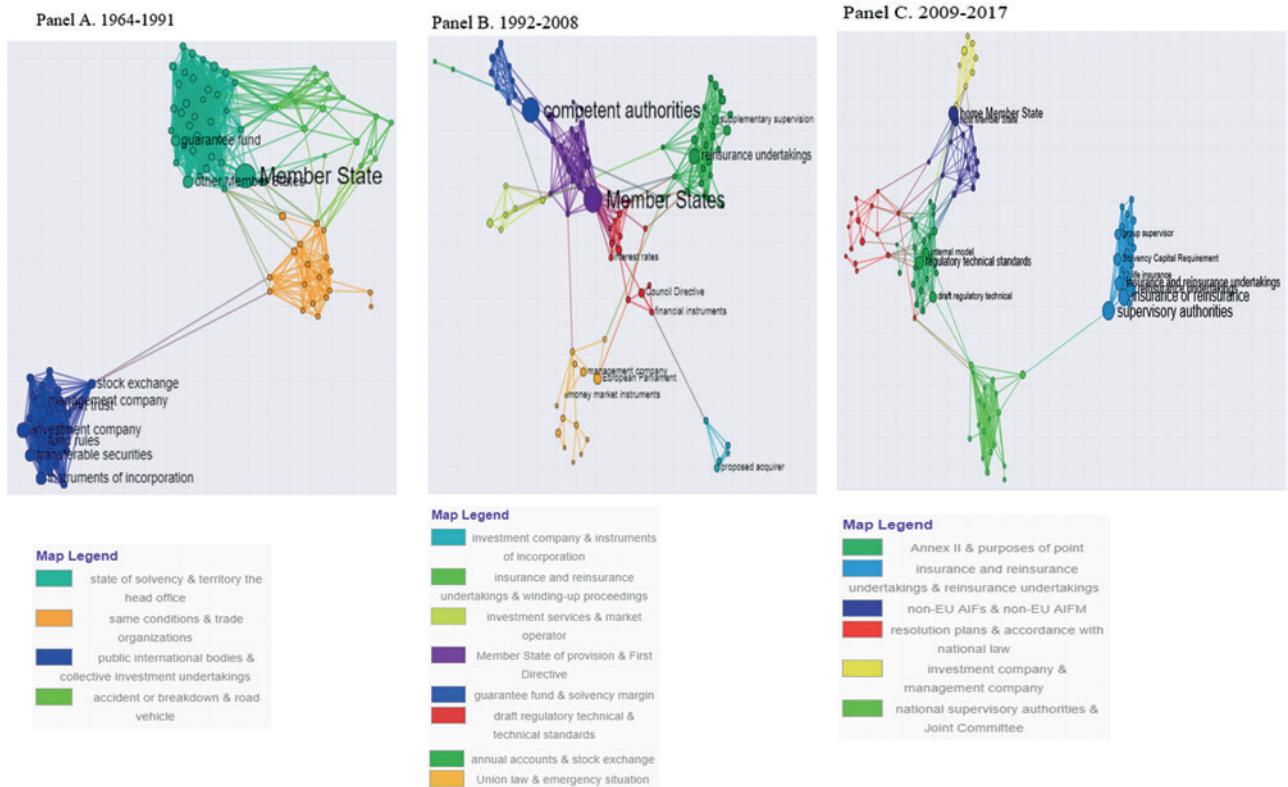


Figure 8: Network Mapping of Related Terms, 1964-2017.

is the most successful in regulating its subjects, whether more interrelated, or more focused is optimal.

The last portion of the NLP analysis was to analyze how agencies changed in these regulations over time. This initial analysis was done by extracting organizational terms from the text and plotting its changes in frequency over time.

On a normalized basis, ‘Commission’ was the primary organization mentioned over the first 2 periods. This changed in the third period as the top position was supplanted by ‘EU’. From this analysis alone, we see that the ‘EU’ as an organization did not hold much weight compared to the ‘Commission’, the ‘Community’ or the ‘European Parliament’ in the previous periods. The sudden emergence of ‘EU’ supports the notion of more cohesion in the EU with regards to financial regulation and potentially an increasingly centralized focus at the EU level in setting regulatory standards. With legislation enacting various authorities and agencies, words such as ‘Authority’, ‘ESMA’, and ‘EBA’ are also now more prominent. However, these agencies do not supersede the overarching European legislative bodies.

Conclusion

This paper provides a first cut into the impact that alternative regulatory structures have on financial market stability, economic growth, and financial inclusion. The research employs both an observational study similar to those in Epstein and O’Halloran (1999) as well as data

science techniques akin to those employed in O’Halloran *et al.* (2016). We augment the previous research design and analytical tools to study the case of European financial institutions to examine the changes in the location and scope of regulatory authority overtime among the competent authorities.

Through the combination of traditional observational methods and computational data science techniques, the analysis uncovered changes in the location and scope of regulatory authority over time. Observational methods reflect a shift in delegation from Member States to the European Commission and to regulatory agencies in recent years. This supports the idea that regulatory authority is moving away from Member States to more centralized sources of decision-making. New machine learning and NLP techniques suggest that while various regulatory agencies have increased its position in financial regulation in recent years, the EU as a whole is more prominent in regulatory authority. Lastly, despite an influx of new financial regulation passed in recent years with a significant increase in delegation, the overall level of discretion provided in these regulations is tempered by the total number of constraints which have increased proportionally.

The data and computational techniques developed will have significant implications for policy makers and market participants alike. One of the challenges faced by both government and business is the lack of precise indicators to systematically measure regulatory policy across countries and over time. The methodology developed will offer the potential to predict the impact of alternative policy

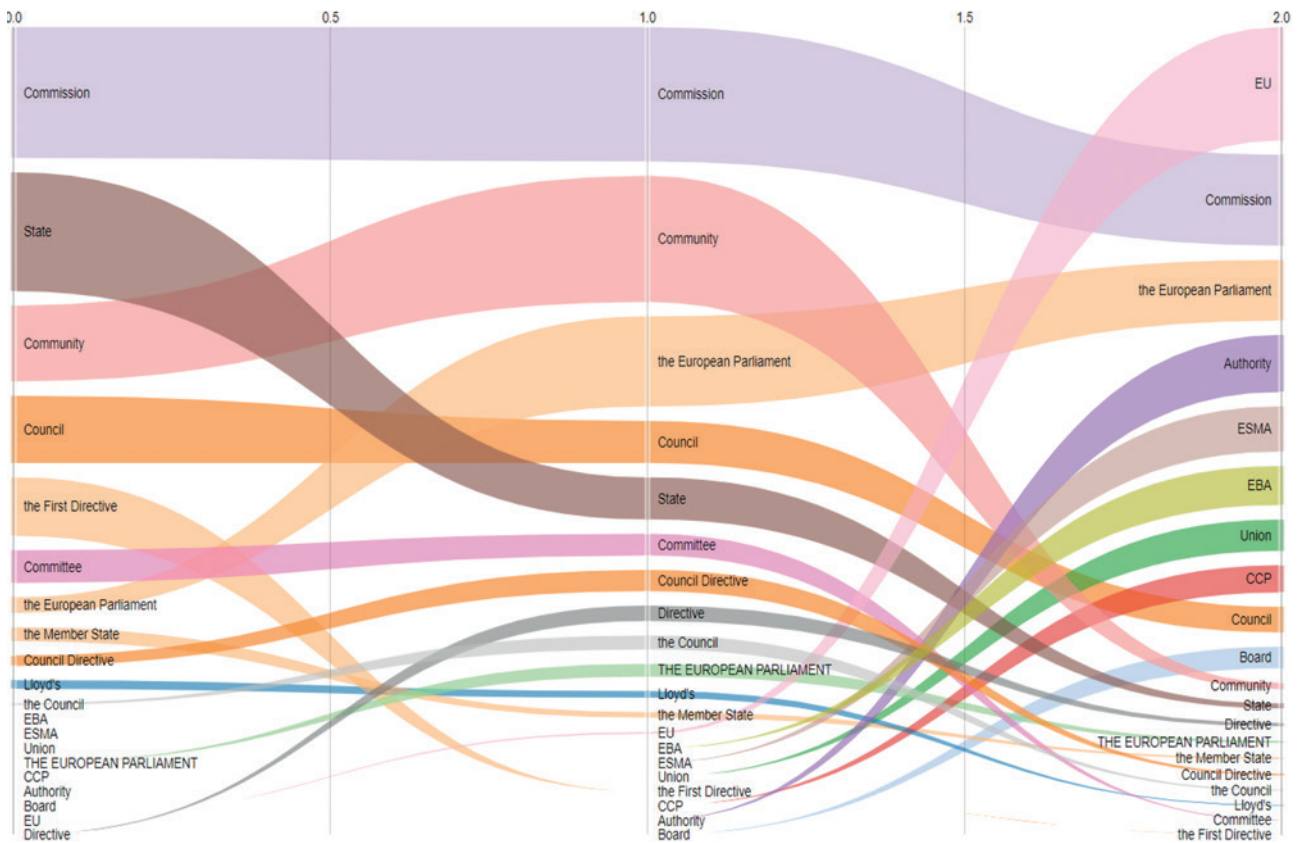


Figure 9: Organizations Mentioned Over Time (1964-2017).

instruments and institutional arrangements on regulatory stringency, enforcement and compliance. The analysis will thereby help governments to better evaluate the effect of the policy choices they confront, as well as assist business communities to better understand the impact of those choices on the competitive environment they face.

References

- ALONSO Ricardo & MATOUSCHEK Niko, "Optimal Delegation", *Review of Economic Studies* 75: 259-293 (2008).
- BENDOR Jonathon & MEIROWITZ Adam, "Spatial Models of Delegation", *American Political Science Review* 98(2): 293-310 (2004).
- BUX Udo, *Sources and scope of European Union law*, 05. Accessed 06 26, 2018 (2018), http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/en/displayFtu.html?ftuId=F-TU_1.2.1.html
- Cortext Manager Documentation, "Cortext Manager Documentation". Accessed June 26, 2018, <https://docs.cortext.net/>
- Directorate-General for Communication Publications, "The European Union Explained How the European Union Works: Your Guide to the EU Institutions", Publications Office of the European Union, 2012.
- EPSTEIN David & O'HALLORAN Sharyn, "Administrative Procedures, Information, and Agency Discretion: Slack vs. Flexibility", *American Journal of Political Science* 38: 697-722 (1994).
- EPSTEIN David & O'HALLORAN Sharyn, *Delegating Powers*, New York: Cambridge University Press (1999).
- Financial Crisis Inquiry Report (2011), Submitted by Pursuant to Public Law 111-21, January 2011, Code of Federal Regulations|Govinfo. Accessed September 16, 2018, <https://www.govinfo.gov/features/financialcrisis-inquiry-report>
- GAILMARD Sean, "Multiple Principals and Oversight of Bureaucratic Policy-Making", *Journal of Theoretical Politics* 21(2): 161-186 (2009).
- GAILMARD Sean & PATTY John, "Slackers and Zealots: Civil Service, Policy Discretion, and Bureaucratic Expertise", *American Journal of Political Science* 51(4): 873-889 (2007).
- GAILMARD Sean & PATTY John, "Formal Models of Bureaucracy", *Annual Review of Political Science* 15: 353-377 (2012).
- KISER Matt, "Introduction to Natural Language Processing (NLP)", Algorithmia Blog. August 11, 2016. Accessed June 26, 2018, <https://blog.algorithmia.com/introduction-natural-language-processing-nlp/>
- LABONTE Marc, *Who Regulates Whom? An Overview of the U.S. Financial Regulatory Framework*, Congressional Research Service (2017).
- McCUBBINS Mathew D., NOLL Roger & WEINGAST Barry, "Administrative Procedures as Instruments of Political Control", *Journal of Law, Economics and Organization* 3: 243-277 (1987).

McCUBBINS Mathew D., NOLL Roger & WEINGAST Barry, "Structure and Process, Politics and Policy: Administrative Arrangements and the Political Control of Agencies", *Virginia Law Review* 75: 431-482 (1989).

McCUBBINS Mathew D. & SCHWARTZ Thomas, "Congressional Oversight Overlooked: Police Patrols versus Fire Alarms", *American Journal of Political Science* 28, No. 1: 165-179 (1984).

MELUMAD Nahum D. & SHIBANO Toshiyuki, "Communication in settings with no transfers", *RAND Journal of Economics* 22(2): 173-198 (1991).

MORGAN Donald P., "Rating Banks: Risk and Uncertainty in an Opaque Industry", *American Economic Review* 92 (4): 874-888 (2002).

O'HALLORAN Sharyn, MASKEY Sameer, MCALLISTER Geraldine, PARK David K. & CHEN Kaiping, "Data Science and Political Economy: Application to Financial Regulatory Structure", *RSF: The Russell Sage Foundation Journal of the Social Sciences* 2, No. 7 (2016): 87.

SCHICKLER Eric & LEE Frances, eds, *Oxford Handbook of Congress*, Oxford: Oxford University Press, pp. 36-65 (2011).

STICHELE Myriam Vander, *Financial Regulation in the European Union: Mapping EU Decision Making Structure on Financial Regulation and Supervision*, European Network on Debt and Development, Dec. 2008, www.eurodad.org/uploadedfiles/whats_new/reports/eumapping_financial_regulation_final.pdf

VOLDEN Craig, "A Formal Model of the Politics of Delegation in a Separation of Powers System", *American Journal of Political Science* 46(1): 111-133 (2002).

VOLDEN Craig & WISEMAN Alan E., "Formal Approaches to the Study of Congress", *Oxford Handbooks Online*, 2011.

WALKER David, "A Review of Corporate Governance in UK Banks and Other Financial Industry Entities Final Recommendations", National Archives Government UK. November 26, 2009. Accessed September 15, 2018, http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/http://www.hm-treasury.gov.uk/d/walker_review_261109.pdf

WISEMAN Alan E., "Delegation and Positive-Sum Bureaucracies", *The Journal of Politics* 71(3): 998-1014 (2009).

Appendix A: Coding Rules for Discretion

Introduction

This appendix details the coding rules used to compile the data sets in our study. As a general rule, each of the data sets was coded independently by two different researchers, and then checked over by a third. Upon final entry, each law was then checked a fourth and final time by the authors. In the field of financial regulation, particularly given that we examined regulation from 20xx to the present day, a number of initial pieces of regulation were revised and amended over this period. It is important to note, therefore, that each bill was coded as a stand-alone bill, where any provision that shifted policy away from the status quo was coded as delegation.

Major Provisions

For the most part, when counting the number of major provisions in a particular piece of legislation, we followed these rules:

Bullets and paragraphs with an ordinal number (1, 2, 3, etc.) count as separate provisions.

- Sub-bullets do not count if they merely elaborate on the previous paragraph.
- Unbulleted paragraphs count as a separate provision if they are substantively distinct from the previous, bulleted paragraph.
- If a paragraph is followed by a colon and a list of elements, and if the elements of the list merely elaborate on the main point of the paragraph, then we count the paragraph and accompanying list as one provision.
- If a directive/regulation only contains amendments to former legislations, subsections numbered with 1), 2), 3), etc., count as separate provisions.

EU Regulation/Directive	Provision numbering
Article 1:	
1.	1
2.	2
Article 2: (no subsections)	3
Article 3: (no subsections)	4 Delegation

Here, each section (Article 1, Article 2, etc.) counts as one provision, unless it contained subsections (1, 2, 3, etc.), in which case each subsection counts as one provision.

Our definition of delegation is any major provision that gives a 1) member state, 2) agency or the 3) European Commission the authority to move policy away from the status quo. To maintain consistency across laws, we developed the following guidelines.

Examples of Delegation:

- The ability to permit valuation of assets or liabilities.
- The ability to place restrictions on specific instruments.
- The ability to draft standards.
- The ability to adopt standards.

- Supervisory Authority.
- The right to conclude cooperation agreements.
- The right to authorize an exchange or disclosure of information.
- The authority to waive certain provisions.
- The right to prohibit disbursement of assets.
- The right to exclude entities from the scope of provisions.
- The right to authorize derogations from conditions/obligations.
- The right to refuse cross-listing of securities in multiple jurisdictions.
- The right to suspend the listing of certain securities.

Some examples of what is not delegation:

- Authorizing appropriations or funds for a program (including the creation of a revolving fund: the revolving fund is simply the vehicle and does not constitute a new program).
- Requiring reports or publication of information.
- The hiring of staff or personnel.
- Asking competent authorities to consult across jurisdictions.
- Evaluations, recommendations, and assessments that do not directly alter policy.

Constraints

The next step is to define how we coded constraints of administrative procedures associated with each law.

1. Reporting Requirements

One of the central ways in which Parliament is able to keep tabs on what the bureaucracy is doing is through reporting requirements. Usually after – or even in some cases prior – to the agency’s promulgating a rule or making a decision, they are to report to Parliament or the oversight committees as to the actions taken, or those that will be taken, and their proposed economic impact. Reporting requirements can be very detailed – often Parliament specifies exactly the type of information it wishes to consider – or can just require that the agency report to Parliament annually about its general activity.

Examples

Directive 2014/91/EU of the European Parliament and of the Council of 23 July 2014 amending Directive 2009/65/EC on the coordination of laws, regulations and administrative provisions relating to undertakings for collective investment in transferable securities (UCITS) as regards depositary functions, remuneration policies and sanctions c):

- Provision 16: “By 18 March 2016, Member States shall notify the laws, regulations and administrative provisions transposing this Article, including any relevant criminal law provisions, to the Commission and ESMA”.
- Provision 17: “Competent authorities shall inform ESMA of all administrative sanctions imposed but not published in accordance with point (c)...”

Directive 2005/68/EC of the European Parliament and of the Council of 16 November 2005 on reinsurance (OJ L 323, 9.12.2005, p. 1):

- Provision 111: “The Commission shall submit those reports to the Council, together with any appropriate proposals or recommendations.”

2. Consultation Requirements

Sometimes Parliament requires that before an Commission, agency, or Member states promulgate any regulations it must consult with other agencies or Member states as well. In this case, the Commission, agency or Member States simply have to consult with a specified actor prior to making its final ruling. Other instances of this category arise when agencies must consult with affected private interests or with Parliament, cooperate with each other, or be assisted by other agencies before promulgating regulations.

Examples

Directive 2007/44/EC of the European Parliament and of the Council of 5 September 2007 amending Council Directive 92/49/EEC and Directives 2002/83/EC, 2004/39/EC, 2005/68/EC and 2006/48/EC as regards procedural rules and evaluation criteria for the prudential assessment of acquisitions and increase of holdings in the financial sector:

- Provision 3: “The relevant competent authorities shall work in full consultations with each other when carrying out the assessment...”

Directive 2005/68/EC of the European Parliament and of the Council of 16 November 2005 on reinsurance (OJ L 323, 9.12.2005, p. 1):

- Provision 23: “The competent authorities of the other Member State involved shall be consulted prior to the granting of an authorisation to a reinsurance undertaking.”

3. Rule-Making Requirements

The most common way for Parliament to limit the discretionary authority that an agency has in implementing policy is to specify detailed rules and procedures in the form of standards and criteria by which an agency must make a decision. Sometimes the agency is merely directed to regulate in the public interest. But more often than not, Parliament specifies in intricate detail what the agency can and cannot do, and how an agency can do what it does.

Example

Directive 2005/68/EC of the European Parliament and of the Council of 16 November 2005 on reinsurance:

- Provision 64: “Furthermore, the home Member State shall lay down more detailed rules setting the conditions for the use of amounts outstanding from a special purpose vehicle as assets covering technical provisions pursuant to this Article.”

4. Exemptions

Here we coded whether a specific group or class of interests was exempted from the effects of a regulation, either permanently or for a given period of time. Usually,

the content of the provision made it clear that an exemption was being offered.

Example

Council Directive 90/619/EEC of 8 November 1990 on the coordination of laws, regulations and administrative provisions relating to direct life assurance, laying down provisions to facilitate the effective exercise of freedom to provide services and amending Directive 79/267/EEC:

- Provision 6: “A Member State in which various territorial units have their own rules of law concerning contractual obligations shall not be bound to apply the provisions of this Directive to conflicts which arise between the laws of those units.”

5. Legislative Action Required

Another constraint that limits the ability of executive agencies to alter policy is the requirement that Parliament must act prior to the agency’s action becoming effective by passing a bill or resolution that approves the policy proposed by the agency. In these cases, the agency’s decision does not constitute final policy action, but rather the final action is placed in the hands of Parliament. This category of constraint is more stringent than a legislative veto, which allows an agency’s decision to take effect unless Parliament acts to stop it. Here, in order for the agency’s decision to take effect at all, Parliament must first take some positive action, usually requiring at least a majority in each chamber.

Example

Regulation (EU) No 1095/2010 of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 establishing a European Supervisory Authority (European Securities and Markets Authority), amending Decision No 716/2009/EC and repealing Commission Decision 2009/77/EC:

- Provision 37: “If either the European Parliament or the Council objects to a regulatory technical standard within the period referred to in paragraph 1, it shall not enter into force.”

6. Executive Action Required

Another means of limiting arbitrary actions by agencies is to require that their rulings or decisions be approved by a separate agency or the president himself. This is less restrictive than requiring congressional action, since executive actors appointed by the same president may tend to have similar policy preferences, but it is also less costly from legislators’ point of view. This category contained only provisions that required final agency actions to be approved by another executive branch actor to take effect; requirements that one executive branch actor merely consult with another before taking action were coded in the separate category of consultation requirements.

7. Legislative Veto

Parliament can always override the decisions taken by an agency by passing a law that makes null and void the

agency's action. A legislative veto establishes a process that allows Parliament to overturn specific agency decisions through a resolution.

Example

Regulation (EU) No 1095/2010 of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 establishing a European Supervisory Authority (European Securities and Markets Authority), amending Decision No 716/2009/EC and repealing Commission Decision 2009/77/EC:

- Provision 32: "The delegation of power referred to in Article 10 may be revoked at any time by the European Parliament or by the Council."

8. Appeals Procedures

All agency decisions are subject to judicial review and can be appealed by a person or group who can show that they are adversely affected by the ruling. Here, we coded for whether the act established explicit procedures by which an agency's decision could be appealed. This includes giving a group standing, expediting the review process, or defining in which court's jurisdiction a case will be heard. In case of the U.S., appeals procedures have become an effective way for environmental and civil rights groups to force effective change on a case-by-case basis, and by the 1970s most social policy contained rather detailed appeals procedure provisions.

Example

Directive 2001/34/EC of the European Parliament and of the Council of 28 May 2001 on the admission of securities to official stock exchange listing and on information to be published on those securities:

- Provision 34: "Failure to give a decision within the time limit specified in paragraph 2 shall be deemed a rejection of the application. Such rejection shall give rise to the right to apply to the courts provided for in paragraph 1."

9. Direct Oversight

All bureaucratic agencies are subject to oversight by congressional committees. But in certain cases, we find that Parliament takes the time to specify how agencies' actions will be overseen. These procedures are coded separately from other devices used to oversee agen-

cies, such as reporting requirements or public hearings, because they entail a level of direct involvement by a third-party exterior to the agency's daily functioning and routines.

Examples

Directive 94/19/EC of the European Parliament and of the Council of 30 May 1994 on deposit-guarantee schemes:

- Provision 25: "The amount referred to in paragraph 1 shall be reviewed periodically by the Commission at least once every five years."

Regulation (EU) No 600/2014 of the European Parliament and of the Council of 15 May 2014 on markets in financial instruments and amending Regulation (EU) No 648/2012:

- Provision 18: "Before granting a waiver in accordance with paragraph 1, competent authorities shall notify ESMA and other competent authorities of the intended use of each individual waiver and provide an explanation regarding its functioning, including the details of the trading venue where the reference price is established as referred to in paragraph 1(a)."

10. Public Hearings

Public hearing is a normal element of rule making process in any case. But this category of constraints identifies those acts that specifically call for an agency to hold public hearings at certain times or under certain circumstances over and above the requirements of the general rule making process.

Example

Regulation (EU) No 806/2014 of the European Parliament and of the Council of 15 July 2014 establishing uniform rules and a uniform procedure for the resolution of credit institutions and certain investment firms in the framework of a Single Resolution Mechanism and a Single Resolution Fund and amending Regulation (EU) No 1093/2010:

- Provision 258: "At the request of the European Parliament, the Chair shall participate in a hearing by the competent committee of the European Parliament on the performance of the resolution tasks by the Board. A hearing shall take place at least annually."

Appendix B: The List of 69 Regulations

Below is the list of all financial regulations from 1964 to 2017. The text was sourced from the EUR-Lex website which is a database for texts produced by various institutions in the European Union. The main source of content comes from the Official Journal of the European Union. Texts are updated daily and can be accessed here: <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>. This is the sole source for data for this paper. No alternative forms of text were considered.

1. Council Directive 64/225/EEC of 25 February 1964 on the abolition of restrictions on freedom of establishment and freedom to provide services in respect of reinsurance and retrocession.
2. 64/300/EEC: Council Decision of 8 May 1964 on cooperation between the Central Banks of the Member States of the European Economic Community.
3. 71/142/EEC: Council Decision of 22 March 1971 on the strengthening of cooperation between the central banks of the Member States of the European Economic Community.
4. Council Directive 73/183/EEC of 28 June 1973 on the abolition of restrictions on freedom of establishment and freedom to provide services in respect of self-employed activities of banks and other financial institutions.
5. First Council Directive 73/239/EEC of 24 July 1973 on the coordination of laws, regulations and administrative provisions relating to the taking-up and pursuit of the business of direct insurance other than life assurance.
6. Council Directive 73/240/EEC of 24 July 1973 abolishing restrictions on freedom of establishment in the business of direct insurance other than life assurance.
7. Council Directive 76/580/EEC of 29 June 1976 amending Directive 73/239/EEC.
8. Council Directive 78/473/EEC of 30 May 1978 on the coordination of laws, regulations and administrative provisions relating to Community co-insurance.
9. First Council Directive 79/267/EEC of 5 March 1979 on the coordination of laws, regulations and administrative provisions relating to the taking up and pursuit of the business of direct life assurance.
10. Council Directive 84/641/EEC of 10 December 1984 amending, particularly as regards tourist assistance, the First Directive.
11. Council Directive 85/611/EEC of 20 December 1985 on the coordination of laws, regulations and administrative provisions relating to undertakings for collective investment in transferable securities.
12. Council Directive 87/344/EEC of 22 June 1987 on the coordination of laws, regulations and administrative provisions relating to legal expenses insurance.
13. Second Council Directive 88/357/EEC of 22 June 1988 on the coordination of laws, regulations and administrative provisions relating to direct insurance other than life assurance and laying down provisions to facilitate the effective exercise of freedom to provide services.
14. Council Directive 90/619/EEC of 8 November 1990 on the coordination of laws, regulations and administrative provisions relating to direct life assurance, laying down provisions to facilitate the effective exercise of freedom to provide services and amending Directive 79/267/EEC.
15. Council Directive 91/675/EEC of 19 December 1991 setting up an insurance committee.
16. Council Directive 92/49/EEC of 18 June 1992 on the coordination of laws, regulations and administrative provisions relating to direct insurance other than life assurance (third non-life insurance Directive).
17. Council Directive 92/96/EEC of 10 November 1992 on the coordination of laws, regulations and administrative provisions relating to direct life assurance and amending Directives 79/267/EEC and 90/619/EEC (third life assurance Directive).
18. Council Directive 93/6/EEC of 15 March 1993 on the capital adequacy of investment firms and credit institutions.
19. Directive 94/19/EC of the European Parliament and of the Council of 30 May 1994 on deposit-guarantee schemes.
20. European Parliament and Council Directive 95/26/EC of 29 June 1995 amending Directives 77/780/EEC and 89/646/EEC in the field of credit institutions, Directives 73/239/EEC and 92/49/EEC in the field of non-life insurance, Directives 79/267/EEC and 92/96/EEC in the field of life assurance, Directive 93/22/EEC in the field of investment firms and Directive 85/611/EEC in the field of undertakings for collective investment in transferable securities (Ucits), with a view to reinforcing prudential supervision.
21. Directive 98/78/EC of the European Parliament and of the Council of 27 October 1998 on the supplementary supervision of insurance undertakings in an insurance group.
22. Directive 2000/12/EC of the European Parliament and of the Council of 20 March 2000 relating to the taking up and pursuit of the business of credit institutions.
23. Directive 2000/64/EC of the European Parliament and of the Council of 7 November 2000 amending Council Directives 85/611/EEC, 92/49/EEC, 92/96/EEC and 93/22/EEC as regards exchange of information with third countries.
24. Directive 2001/17/EC of the European Parliament and of the Council of 19 March 2001 on the reorganisation and winding-up of insurance undertakings.
25. Directive 2001/24/EC of the European Parliament and of the Council of 4 April 2001 on the reorganisation and winding up of credit institutions.

26. Directive 2001/34/EC of the European Parliament and of the Council of 28 May 2001 on the admission of securities to official stock exchange listing and on information to be published on those securities.

27. Directive 2001/65/EC of the European Parliament and of the Council of 27 September 2001 amending Directives 78/660/EEC, 83/349/EEC and 86/635/EEC as regards the valuation rules for the annual and consolidated accounts of certain types of companies as well as of banks and other financial institutions.

28. Directive 2001/107/EC of the European Parliament and of the Council of 21 January 2002 amending Council Directive 85/611/EEC on the coordination of laws, regulations and administrative provisions relating to undertakings for collective investment in transferable securities (UCITS) with a view to regulating management companies and simplified prospectuses.

29. Directive 2001/108/EC of the European Parliament and of the Council of 21 January 2002 amending Council Directive 85/611/EEC on the coordination of laws, regulations and administrative provisions relating to undertakings for collective investment in transferable securities (UCITS), with regard to investments of UCITS (Directive 2001/108/EC of the European Parliament and of the Council of 21 January 2002 amending Council Directive 85/611/EEC on the coordination of laws, regulations and administrative provisions relating to undertakings for collective investment in transferable securities (UCITS), with regard to investments of UCITS).

30. Directive 2002/83/EC of the European Parliament and of the Council of 5 November 2002 concerning life assurance.

31. Directive 2002/87/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the supplementary supervision of credit institutions, insurance undertakings and investment firms in a financial conglomerate and amending Council Directives 73/239/EEC, 79/267/EEC, 92/49/EEC, 92/96/EEC, 93/6/EEC and 93/22/EEC, and Directives 98/78/EC and 2000/12/EC of the European Parliament and of the Council.

32. Directive 2002/92/EC of the European Parliament and of the Council of 9 December 2002 on insurance mediation.

33. Directive 2003/41/EC of the European Parliament and of the Council of 3 June 2003 on the activities and supervision of institutions for occupational retirement provision.

34. Directive 2003/71/EC of the European Parliament and of the Council of 4 November 2003 on the prospectus to be published when securities are offered to the public or admitted to trading and amending Directive 2001/34/EC.

35. 2004/10/EC: Commission Decision of 5 November 2003 establishing the European Banking Committee.

36. Directive 2005/1/EC of the European Parliament and of the Council of 9 March 2005 amending Council Directives 73/239/EEC, 85/611/EEC, 91/675/EEC, 92/49/

EEC and 93/6/EEC and Directives 94/19/EC, 98/78/EC, 2000/12/EC, 2001/34/EC, 2002/83/EC and 2002/87/EC in order to establish a new organisational structure for financial services committees.

37. Directive 2005/68/EC of the European Parliament and of the Council of 16 November 2005 on reinsurance.

38. Directive 2007/44/EC of the European Parliament and of the Council of 5 September 2007 amending Council Directive 92/49/EEC and Directives 2002/83/EC, 2004/39/EC, 2005/68/EC and 2006/48/EC as regards procedural rules and evaluation criteria for the prudential assessment of acquisitions and increase of holdings in the financial sector.

39. Directive 2008/36/EC of the European Parliament and of the Council of 11 March 2008 amending Council Directive 92/49/EEC on the coordination of laws, regulations and administrative provisions relating to direct insurance other than life assurance, as regards the implementing powers conferred on the Commission.

40. Directive 2009/65/EC of the European Parliament and of the Council of 13 July 2009 on the coordination of laws, regulations and administrative provisions relating to undertakings for collective investment in transferable securities (UCITS).

41. Directive 2009/138/EC of the European Parliament and of the Council of 25 November 2009 on the taking-up and pursuit of the business of Insurance and Reinsurance (Solvency II).

42. Regulation (EC) No 1060/2009 of the European Parliament and of the Council of 16 September 2009 on credit rating agencies.

43. Directive 2010/78/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 amending Directives 98/26/EC, 2002/87/EC, 2003/6/EC, 2003/41/EC, 2003/71/EC, 2004/39/EC, 2004/109/EC, 2005/60/EC, 2006/48/EC, 2006/49/EC and 2009/65/EC in respect of the powers of the European Supervisory Authority (European Banking Authority), the European Supervisory Authority (European Insurance and Occupational Pensions Authority) and the European Supervisory Authority (European Securities and Markets Authority).

44. Corrigendum to Directive 2010/78/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 amending Directives 98/26/EC, 2002/87/EC, 2003/6/EC, 2003/41/EC, 2003/71/EC, 2004/39/EC, 2004/109/EC, 2005/60/EC, 2006/48/EC, 2006/49/EC and 2009/65/EC in respect of the powers of the European Supervisory Authority (European Banking Authority), the European Supervisory Authority (European Insurance and Occupational Pensions Authority) and the European Supervisory Authority (European Securities and Markets Authority).

45. Regulation (EU) No 1092/2010 of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on European Union macro-prudential oversight of the financial system and establishing a European Systemic Risk Board.

46. Regulation (EU) No 1093/2010 of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 establishing a European Supervisory Authority (European Banking Authority), amending Decision No 716/2009/EC and repealing Commission Decision 2009/78/EC.
47. Regulation (EU) No 1094/2010 of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 establishing a European Supervisory Authority (European Insurance and Occupational Pensions Authority), amending Decision No 716/2009/EC and repealing Commission Decision 2009/79/EC.
48. Regulation (EU) No 1095/2010 of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 establishing a European Supervisory Authority (European Securities and Markets Authority), amending Decision No 716/2009/EC and repealing Commission Decision 2009/77/EC.
49. Council Regulation (EU) No 1096/2010 of 17 November 2010 conferring specific tasks upon the European Central Bank concerning the functioning of the European Systemic Risk Board.
50. Directive 2011/61/EU of the European Parliament and of the Council of 8 June 2011 on Alternative Investment Fund Managers and amending Directives 2003/41/EC and 2009/65/EC and Regulations (EC) No 1060/2009 and (EU) No 1095/2010.
51. Directive 2011/89/EU of the European Parliament and of the Council of 16 November 2011 amending Directives 98/78/EC, 2002/87/EC, 2006/48/EC and 2009/138/EC as regards the supplementary supervision of financial entities in a financial conglomerate.
52. Directive 2012/23/EU of the European Parliament and of the Council of 12 September 2012 amending Directive 2009/138/EC (Solvency II) as regards the date for its transposition and the date of its application, and the date of repeal of certain Directives.
53. Regulation (EU) No 648/2012 of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on OTC derivatives, central counterparties and trade repositories.
54. Council Directive 2013/23/EU of 13 May 2013 adapting certain directives in the field of financial services, by reason of the accession of the Republic of Croatia.
55. Directive 2013/36/EU of the European Parliament and of the Council of 26 June 2013 on access to the activity of credit institutions and the prudential supervision of credit institutions and investment firms, amending Directive 2002/87/EC and repealing Directives 2006/48/EC and 2006/49/EC.
56. Directive 2013/58/EU of the European Parliament and of the Council of 11 December 2013 amending Directive 2009/138/EC (Solvency II) as regards the date for its transposition and the date of its application, and the date of repeal of certain Directives (Solvency I).
57. Regulation (EU) No 575/2013 of the European Parliament and of the Council of 26 June 2013 on prudential requirements for credit institutions and investment firms and amending Regulation (EU) No 648/2012.
58. Directive 2014/49/EU of the European Parliament and of the Council of 16 April 2014 on deposit guarantee schemes.
59. Directive 2014/51/EU of the European Parliament and of the Council of 16 April 2014 amending Directives 2003/71/EC and 2009/138/EC and Regulations (EC) No 1060/2009, (EU) No 1094/2010 and (EU) No 1095/2010 in respect of the powers of the European Supervisory Authority (European Insurance and Occupational Pensions Authority) and the European Supervisory Authority (European Securities and Markets Authority).
60. Directive 2014/59/EU of the European Parliament and of the Council of 15 May 2014 establishing a framework for the recovery and resolution of credit institutions and investment firms and amending Council Directive 82/891/EEC, and Directives 2001/24/EC, 2002/47/EC, 2004/25/EC, 2005/56/EC, 2007/36/EC, 2011/35/EU, 2012/30/EU and 2013/36/EU, and Regulations (EU) No 1093/2010 and (EU) No 648/2012, of the European Parliament and of the Council.
61. Directive 2014/65/EU of the European Parliament and of the Council of 15 May 2014 on markets in financial instruments and amending Directive 2002/92/EC and Directive 2011/61/EU.
62. Directive 2014/91/EU of the European Parliament and of the Council of 23 July 2014 amending Directive 2009/65/EC on the coordination of laws, regulations and administrative provisions relating to undertakings for collective investment in transferable securities (UCITS) as regards depositary functions, remuneration policies and sanctions.
63. Regulation (EU) No 600/2014 of the European Parliament and of the Council of 15 May 2014 on markets in financial instruments and amending Regulation (EU) No 648/2012.
64. Regulation (EU) No 806/2014 of the European Parliament and of the Council of 15 July 2014 establishing uniform rules and a uniform procedure for the resolution of credit institutions and certain investment firms in the framework of a Single Resolution Mechanism and a Single Resolution Fund and amending Regulation (EU) No 1093/2010.
65. Regulation (EU) 2015/760 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2015 on European long-term investment funds.
66. Directive (EU) 2016/2341 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2016 on the activities and supervision of institutions for occupational retirement provision (IORPs).
67. Directive (EU) 2016/97 of the European Parliament and of the Council of 20 January 2016 on insurance distribution (recast).

68. Regulation (EU) 2017/1131 of the European Parliament and of the Council of 14 June 2017 on money market funds.

69. Regulation (EU) 2017/2402 of the European Parliament and of the Council of 12 December 2017 laying

down a general framework for securitisation and creating a specific framework for simple, transparent and standardised securitisation, and amending Directives 2009/65/EC, 2009/138/EC and 2011/61/EU and Regulations (EC) No 1060/2009 and (EU) No 648/2012.

Appendix C: NLP Cortex Steps-by-Step Instructions

Setup: Log into Cortex:

- 1 - All text files should be saved into a .zip file
- 2 - Create a new project – name the project

1. Upload the zip files:

- a) Select “upload a new corpus”
- b) Add the zip file to drop area, then click “Accept & Upload”
- c) In “Script Parameters”, select the following:
 1. Type of Data: “database”
 2. Corpus Format: “txt”
 3. Should the paragraph structure of your original files be respected: “yes”
 4. Create one separate document per paragraph: “no”
 5. Lexis Nexis data: “no”
 6. Ignore entries with incorrectly formatted time steps: “yes”
- d) Click “start script”

2. Upload the csv file of yearlist:

- a) Select “upload a new corpus”
- b) Add the csv file to drop area, then click “Accept & Upload”
- c) In “Script Parameters”, select the following:
 1. Type of Data: “term list”
- d) Click “start script”

Attention

- a. This .csv file must have 2 columns: 1. File name; 2. Year (the year of the legislation)
- b. Save file as UTF8 format
- c. Sample looks like.

3. Term Extraction

- a) Select “start a new script” – scroll down to “Terms Extraction”
- b) Select the appropriate “corpus”
- c) In “Script Parameters”, select the following:
 1. Textual Fields: “text”
 2. Minimum Frequency: “3”
 3. List length: “100”
 4. Language: “en”
 5. Monograms are forbidden: “yes”
 6. Maximal length (max number of words): “3”
 7. Lexical extraction advanced settings: “no”
 8. Grammatical criterion: “noun phrase”
 9. Optionally you can name the new indexation that will be generated: “ ”
 10. Number of time slices: “1”
 11. Time slices distribution: “homogeneous”
- d) Click “start script”

4. Corpus list indexer:

- a) Select “start a new script” – scroll down to “Corpus list indexer”

- b) Select the appropriate “corpus”
- c) In “Script Parameters”, select the following:
 1. Field: “filename”
 2. Define a custom list of entities: “no”
 3. Add a dictionary of equivalent strings: “yes”
 4. Enter a dictionary with equivalences – select the appropriate file
 5. Add a null label to every article with no matching tag: “no”
 6. Count only one occurrence per article during indexation: “no”
 7. Optionally you can name the new indexation that will be generated: “IS|pubdate”
- d) Click “start script”

5. Demography:

- a) Select “start a new script” – scroll down to “Demography”
- b) Select the appropriate “corpus”
- c) In “Script Parameters”, select the following:
 1. Number of items to consider: “20”
 2. Which variable(s): “Terms”
 3. Demography Parameters Advanced Settings: “no”
- d) Click “start script”

6. Network mapping:

- a) Select “start a new script” – scroll down to “Network mapping”
- b) Select the appropriate “corpus”
- c) In “Script Parameters”, select the following:
 1. First Field: “Terms”
 2. Second Field: “Terms”
 3. Number of nodes: “100”
 4. Nodes advanced settings: “no”
 5. Automatically define the Proximity Measure: “yes”
 6. Edges filtering advanced settings: “no”
 7. Edges advanced settings: “no”
 8. Number of time slices: “1”
 9. Time slices distribution: “homogeneous”
 10. Overlapping periods: “no”
 11. Sequencing: “snapshot”
 12. Community detection algorithm: “louvain”
 13. Historical map: “no”
 14. Project records onto clusters: “yes”
 15. Modify the name of the projected cluster: “ ”
 16. Assign an unique cluster to each record (best match): “no”
 17. Penalize large clusters when computing projections: “no”
 18. Add information from a 3rd variable to tag clusters or produce a heatmap: “no”
 19. Network analysis advanced settings: “no”
- d) Click “start script”

7. Epic Epochs:

- a) Select “start a new script” – scroll down to “Epic Epochs”
- b) Select the appropriate “corpus”

c) In "Script Parameters", select the following:

1. Field: Terms
2. Size of the Hierarchy: "10"
3. Normalization of frequency count: "no"

4. Number of time slices: "3"

5. Time slices distribution: "regular"

6. Overlapping periods: "no"

d) Click "start script"

The economics of gold

Foreword

Françoise Roure, Conseil Général de l'Économie

1 - Finding gold and operating mines

Techniques of prospecting for gold

Jérémie Melleton, Éric Fournier and Éric Gloaguen, Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM)

Gold tends to be associated with iron in minerals. This precious metal is usually present in very weak concentrations (on a ppb-scale) in rocks in the Earth's continental crust. The processes at the origin of the formation of economically feasible ore deposits, which are mainly mined using hydrothermal circulation, sometimes have an enrichment factor of a magnitude of 10,000. It is complicated to classify gold deposits, but the knowledge acquired about the principal categories serves to draw up guidelines for prospecting that take account of geological contexts, alterations or geochemical signatures. Approaches to prospecting rely on geochemistry and geophysics. At present, prospecting activities are concentrated in Canada, Australia, Latin America and Africa.

Techniques and conditions for operating gold mines

Philippe Matheus, Compagnie Minière de Boulanger (CMB)

After placing gold and prospecting activities in a historical context, various techniques used to mine gold are reviewed. The ore-processing methods applicable to gold deposits are presented by concentrating on the operation of gold mines in French Guiana.

Satisfying a gold mine's energy needs: The Essakane mine in Burkina Faso

Christophe Fleurence, vice-president of Business Development Africa, Total Eren

Solar energy has replaced nearly five hundred tonnes of fuel oil per month in the Essakane gold field in Burkina Faso, which, located in a remote area, is not hooked up to the national electricity grid. The mining company, which belongs to the Canadian group IAMGOLD, has opted for an innovative energy supply in the mining industry. To satisfy an average demand for 40 MW of electricity, the mine has formed a partnership with an energy producer. Total Eren and AEMP (Africa Energy Management Platform) have developed Essakane Solar. Total Eren has connected a photovoltaic power station with a production capacity of 15 MW-peak to the thermal power station with a capacity of 57 MW used by the mining company. The total installation now represents the biggest mixed (solar/fuel oil) power station in the world and one of the biggest solar installations in Africa south of the Sahara. How to satisfy a gold mine's energy needs? Herein, a pioneer in renewables makes a few points...

Innovations in Mining Operator Efficiency Through Simulation Based Training Technologies and Processes

Immersive Technologies

Within the often-hazardous mining industry, simulation training has quickly gained recognition as a significant method of increasing site safety and profitability through improved operator skill and knowledge. Simulators provide operators a safe environment to learn and practice their skills; Immersive Technologies' simulators allow the operator to practice for a range of possible emergency situations. Many of these situations are too dangerous, too difficult or too expensive to test in an actual mine.

Immersive Technologies has deployed over 80% of the Advanced Equipment Simulators operating around the world to the broadest range of mining environments. This experience, together with ongoing feedback from customer base and Original Equipment Manufacturer alliance partners, has provided Immersive Technologies with the knowledge necessary to develop the most accurate, reliable and outcome oriented Equipment Simulators.

Immersive Technologies' Equipment Simulators are supported by the industry's most comprehensive range of compatible tools, technologies and professional services. This ensures a solution to meet or exceed your needs can be defined, delivered, implemented and generating operational results quickly and with very low risk.

Financing plans for gold mines: Stages, players and criteria

Sylvain Eckert, Natixis

Since gold-mining plans are, above all, mining plans, they are quite different from other industrial projects. Time passes between the discovery and actual mining of a gold deposit. The plans made pass through stages as various investors intervene, whose quite different expectations for a return on investment are aligned on their ability to back the risks related to the plans. After describing the stages of plans for mining gold, the means of funding them are discussed along with the various investors (stakeholders in equity, venture capital funds, commercial banks, hybrid funds), their ways of intervening and their relation to risk-taking. The criteria are described that these investors use to put up funds during each stage of the plan.

Illegal trade in the gold mined by small-scale producers in sub-Saharan Africa

Victoria Reichel, IMPACT

Despite its importance as a source of income for millions of workers, small-scale gold production in Africa provides very little income to the governments there. The informal nature of artisanal, small-scale production and the highly complex means used to finance mining during the production chain make it very hard to control small-

scale producers and the trade in the gold they mine. The extent of this illegal trade in Africa is discussed. Given the absence of reliable global statistics on this topic, a brief description is made of three West African countries (Mali, Burkina Faso and Ivory Coast) and of the African Great Lakes region in reference to the studies made by IMPACT (formerly Partnership Africa Canada), a Canadian NGO. In these two regions of Africa, the illicit gold trade involves crossborder smuggling: the precious metal is transported illegally out of the producing country toward a neighboring land from which it is “legally” exported as if it came from this second country

2 - The uses of gold in industry

The structure of physical gold markets in 2018

Gaétan Lefebvre and Mathieu Leguérinel, Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM)

Worldwide demand for gold is usually distributed among five major categories: the jewelry business, technological applications, exchange traded funds (ETFs), central banks and the mintage of coins and ingots. The shares of the first two as a part of total demand are relatively stable and, therefore, foreseeable: 55%-60% and 8% respectively. On the contrary, demand in the three other categories having to do with investments (gold's financial function) is sensitive to macroeconomic factors and swings from year to year. In 2018, despite pressures on prices against a backdrop of a trade war between Peking and Washington, attention has been centered around the question of transparency in the listing and transactions of gold on the principal marketplaces worldwide. This question has oriented the markets...

Using gold nanoparticles in catalysis

Delphine Schaming, associate professor, Laboratoire ITODYS, Paris Diderot University

Several studies are being made of catalysis, an important field in chemistry, since 90% of chemical processes in industry involve catalysis in at least one of their stages. In research laboratories, new materials are being developed with multiple properties. The recent interest in nanoparticles, in particular of gold, opens new prospects for catalysis. Given their very small size, nanoparticles are highly reactive, unlike gold, which is known for its chemical inertia at the macroscopic scale. Furthermore, they are at the origin of a physical phenomenon, plasmon resonance, which endows them with photocatalytic properties.

Gold in history and civilization, history and the arts

Myriame Morel-Deledalle and Jean-Roch Bouiller, curators of the exhibition on gold at the Museum of European and Mediterranean Civilizations (MUCEM, Marseille)

Questions can always be asked about the grounds for a convergence between archeology and contemporary art. The exhibition on gold organized in 2018 at MUCEM in Marseille addresses these questions. It distinguishes this precious metal's monetary value from its properties, both plastic and symbolic. As we see from its history, gold has

had an important function in nearly all societies, during all periods and in all latitudes. In this sense, it is a matter of civilization that, in addition, has links to several current social questions. Gold has also been a material worked by artists and craftworkers; and interest is, once again, being shown in their creations. Most contemporary artists propose a political or poetic approach to gold – some are critical of its monetary value (as a means of alienation), while others play on this value or propose approaching gold as a material but for the purpose of revealing its metaphysics.

Measuring gold and making it traceable from its origins: The metrology of powders and molten gold

Laurent Bailly, Anne-Marie Desauty, Philippe Lach, Wolfram Kloppmann and Isabelle Duhamel-Achin, Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM)

Since Ancient Times, people have sought for new methods to determine how pure gold is. Nowadays, the challenge to science is to precisely assay the impurities in gold. Several techniques analyze the chemical signatures of these impurities. Whether destructive or not, whether global or *in situ*, these signatures characterize a sample's heterogeneity. The science of archeology uses the signature of impurities to trace the circulation of ancient objects. When prospecting, this signature is used to locate primary deposits. In the fight against the illegal mining of gold and trade in it, establishing a tracking system on supply chains has become an obligation for importing firms. The chemical signature of the impurities contained in gold, along with the isotopic and mineralogical signatures, holds promise for tracking gold.

Michèle Rousseau (BRGM) has written a foreword for this article.

3 - Gold for money and banks

The gold market and central bank reserves

Nathalie Aufauvre, Bank of France

Central banks are historically the witnesses to, and key players in, gold as an asset (monetary and then financial). Till the end of the 20th century, the management of gold reserves in central banks, mostly in developed countries, very much depended on gold's place as a monetary asset. This aspect gradually yielded to a more financial conception owing to successive financial crises since 2008. In this context, the central banks of emerging countries are playing a larger role as these countries have become net buyers of gold.

The place of gold in French savings and the means for mobilizing it

François de Lassus, CPoR Devises, Tessi Group

Till the end of the 1960s, France was a worldwide reference for investments in the physical gold market, given the sizeable volume of transactions there. This thriving market co-existed with a “nest egg” of at least 3000 tonnes. Although this precious metal's market price inevitably dropped during the 1970s, this golden egg's size

remained stable, whereas it should have diminished in due proportion. In fact, 80% of people with savings in France have gold that was acquired during the period of prosperity following WW II or has been passed on as an inheritance. They do not want to sell since this asset is taxed, when resold, at a rate they deem excessive. If the law were modified in a less confiscatory sense, 8% of persons who own gold would be ready to sell it. “Liberating” as little as 5% of this nest egg would supply the economy with the equivalent of €4.5 billion.

The exoticism of gold coins and the governance of monetary systems

Vincent Bignon, Bank of France

Gold was used as money on nearly all continents, except Asia where silver was traditionally current. What stands out when examining metal-based monetary systems is the similarity to the problems with which systems using fiat money have to cope. Time does not simply march forward during the history of money. The French and German economies experienced hyperinflation during the Middle Ages or Renaissance; and kings waged monetary warfare with each other. Governance is just as crucial in metal-based as in fiat monetary systems. The origins of the mintage of gold are described; and the reasons legitimating this choice, reviewed. Governance is of crucial importance in gold-based monetary systems.

From monetary to financial gold

Tanguy Aubert and Christian Pfister, department of statistics, Bank of France

The function of gold as a monetary asset has gradually waned, at first in transactions and then in the international monetary system (whence it was eliminated in 1973). For the public, gold can serve as a financial asset by protecting against inflation in the very long term and by serving as a safe investment during crises of a global (but not necessarily regional) scale.

Miscellany

Two articles in a followup to the August 2018 issue, “Ten years ago, the meltdown: Regulating finance and new issues”.

The Retreat from Systemic Risk Regulation: What Explains It? (and Why It Was Predictable)

John C. Coffee, Jr., Adolf A. Berle Professor of Law at Columbia University Law School and Director of its Center on Corporate Governance

Financial crises usually trigger a predictable cycle: first, a populist outburst that produces dramatic legislative and regulatory changes and, then, a slower counter-reaction as the financial industry gradually subjects the new reforms to a death by a thousand cuts, often with the result that little remains. This cycle – here called the “Regulatory Sine Curve” – can be traced back to the South Sea Bubble in 1720. In the aftermath of 2008, this cycle seems to be again in progress in the United States, as many of the Dodd-Frank Act’s reforms have either gone unimplemented or have been partially repealed. But the same cycle does not appear to be occurring in Europe. This brief essay analyzes these differing responses and seeks to explain why Europe seems better insulated against counter-reaction.

Delegating Regulation: European Union and Financial Markets

Sharyn O’Halloran, Columbia University, Karen Chen, Rudra M Guha Biswas, Hoon Kim, Pu Liu, YouFei Zhang and YunPeng Zhou

This paper analyzes the design of financial regulatory structure in the European Union. We develop a two-pronged approach to track changes in decision-making authority in EU financial market regulations and directives enacted from 1964 to the present. Traditional observational data collection methods manually code laws to identify the amount of discretionary authority delegated to regulatory bodies that oversee segments of financial markets. The lack of robustness and scalability of this approach, however, may limit the generalizability of observational studies. To remedy these potential shortcomings, we match observational methods with data science techniques, in particular natural language processing, to visualize complex patterns in the text of laws and temporal movements. The combination of both observational and computational approaches provides more detailed insights of the various elements of financial regulatory structure and the temporal allocation of decision-making authority among the European Commission, regulatory agencies and the Members States. Our analysis indicates that both the scope and location of decision-making authority shifted over time, moving from Member States to EU regulatory agencies. The amount of discretionary authority delegated to EU agencies to implement regulations, on the other hand, has remained largely unchanged.

Issue editors: Françoise Roure and Serge Catoire

AUBERT Tanguy

Après deux années de classes préparatoires en mathématiques/physique, Tanguy Aubert a suivi une formation d'ingénieur généraliste à l'École centrale de Lille avant d'entrer à l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), en Suisse, pour y suivre un master d'ingénierie financière. Depuis septembre 2014, il travaille à la Banque de France. À la tête d'une équipe de cinq personnes, il exploite des bases de données brutes pour en extraire des statistiques nécessaires à la compréhension des évolutions économiques, monétaires et financières en France et en zone Euro. En 2017, il a participé à un échange avec la Banque d'Italie, au cours duquel il a travaillé sur un projet de recherche qui a abouti à la rédaction d'un papier intitulé « Risk injection in the portfolio of institutional investors ».

AUFAUVRE Nathalie



D.R

Nathalie Aufauvre est directeur général de la Stabilité financière et des Opérations à la Banque de France, depuis octobre 2017. Elle est également membre du Comité de Bâle sur la supervision bancaire (BCBS) et du Comité sur le système financier global (CGFS). Diplômée de l'Institut d'études politiques de Paris et titulaire d'une maîtrise en sciences économiques, elle est nommée directeur financier en 2006, et Secrétaire général adjoint, chargée de la stratégie, en 2011, avant de devenir Secrétaire général de la Banque de France en 2012.

BAILLY Laurent



D.R

Laurent Bailly est ingénieur géologue expert en métallurgie et gîtologie à la direction des Géoressources du BRGM. Il est titulaire d'un doctorat en géosciences de l'Université de Lorraine, qu'il a obtenu en 1994. Depuis 1997, date de son arrivée au BRGM, son activité s'est principalement centrée sur l'étude des processus de la métallogénèse : gisements épithermaux et porphyriques, gisements liés à l'altération supergène, BIF, minéralisations à Ni-Cu-EGP liées aux intrusions mafiques et ultramafiques, gisements Pb-Zn de type MVT. Il est expert dans le domaine de la caractérisation minérale des altérations et minéralisations associées. Il est également chef de projet en exploration des ressources minérales depuis le stade amont (sélection de cibles, prospection régionale, inventaire minier) jusqu'au stade aval (prospections tactiques, travaux de subsurface, campagnes de sondages, modélisation et évaluation du potentiel économique). Il est l'auteur et le co-auteur de plus de 30 publications dans des revues de rang A.

BIGNON Vincent



D.R

Vincent Bignon est conseiller du directeur général des Études et des Relations internationales de la Banque de France, après avoir été économiste expert au service d'étude de la Politique monétaire, puis adjoint au chef du service des Analyses micro-économiques. Spécialisé en économie monétaire et financière, avec un goût marqué pour les sujets d'histoire économique, ses sujets de recherche actuels portent sur le coût des fonds propres des sociétés non financières, le cadre de garanties utilisées par les banques centrales pour leurs interventions de politique monétaire et l'étude des systèmes de paiement et des chambres de compensation. Après des études à l'ENS Paris Saclay, il a obtenu son doctorat sous la direction d'André Orléan à l'École polytechnique, à Paris. Avant de rejoindre la Banque de France en 2011, il a été maître de conférences à l'École supérieure du professorat et de l'éducation de l'Université de Paris-Est de 2003 à 2006, à Sciences Po Paris de 2006 à 2009, puis au département d'histoire internationale de l'Institut de hautes études internationales et du développement à Genève. Il a également occupé des postes de visiteurs à l'Université de Pennsylvanie à Philadelphie et à l'Université George Mason en Virginie. Ses recherches ont été publiées dans des revues académiques d'histoire économique et de macro-économie, ainsi que dans des revues généralistes.

BOUILLER Jean-Roch



D.R

Docteur en histoire de l'art contemporain et conservateur en chef, Jean-Roch Bouiller est responsable du secteur Art contemporain au Mucem, depuis 2011. Il a été commissaire de plusieurs expositions à la galerie d'art du Conseil général des Bouches-du-Rhône à Aix-en-Provence, à Sèvres – Cité de la céramique, au Musée Rath/Musée d'art et d'histoire de la ville de Genève et au Mucem à Marseille. En plus des catalogues de ces expositions, il a publié de nombreux articles sur l'art contemporain, sur les écrits d'André Lhote (sujet de sa thèse de doctorat) et, avec Françoise Levailant et Dario Gamboni, un livre sur *Les Bibliothèques d'artistes, XX^e-XXI^e siècles*.

COFFEE John C., Jr.

Professor John C. Coffee, Jr. is the Adolf A. Berle Professor of Law at Columbia University Law School and Director of its Center on Corporate Governance. He is a Fellow at the American Academy of Arts and Sciences and has been repeatedly listed by the National Law Journal as among its "100 Most Influential Lawyers in America".



D.R

Professor Coffee has served as a Reporter to The American Law Institute for its Corporate Governance Project, has served on the Legal Advisory Board to the New York Stock Exchange, and was a member of the SEC's Advisory Committee on the Capital Formation and Regulatory Processes. Professor Coffee is the author or editor of several widely used

casebooks on corporations and securities regulation, including *Coffee and Sale, Securities Regulation: Cases and Materials* (13th ed. 2015); *Choper, Coffee and Gilson, Cases and Materials on Corporations* (8th ed. 2013); and *Klein, Coffee and Partnoy, Business Organizations and Finance* (11th ed. 2010). His books include *Coffee, Entrepreneurial Litigation: Its Rise, Fall, and Future* (Harvard University Press 2015); *Coffee, Gatekeepers: The Professions and Corporate Governance* (Oxford University Press 2006); *Coffee, Lowenstein and Rose-Ackerman, Knights, Raiders and Targets: The Impact of the Hostile Takeover* (Oxford University Press 1988); and *Ferran, Moloney, Hill and Coffee, The Regulatory Aftermath of the Global Financial Crisis* (Cambridge University Press 2012). According to recent surveys of law review citations, Professor Coffee is the most cited law professor in U.S. law reviews over the last fifteen years in the combined corporate, commercial, and business law fields.

DE LASSUS François



D.R

Consultant auprès de CPoR Devises – un établissement de crédit spécialisé, premier intervenant en France sur le marché du change manuel (devises-billets) et de l'or physique aux fins d'investissement –, François de Lassus occupait, jusqu'au 31 mars de cette année (2018), le poste de directeur de la Communication externe au sein de

cette entreprise. Il travaille dans le marché de l'or depuis plusieurs années. Ses premiers pas sur ce marché datent de son entrée chez Intergold (International Gold Corporation), le bras du marketing de l'or de la Chambre des Mines sud-africaine au début des années 1980. Puis, il a rejoint le World Gold Council (le Conseil mondial de l'or), où il a occupé différents postes pendant plus de 15 ans, lui permettant ainsi d'acquérir une expertise reconnue dans le marketing de l'or et de ses différentes utilisations, notamment celle de l'investissement.

DESAULTY Anne-Marie

Anne-Marie Desaulty est géochimiste isotopiste au BRGM. Elle est titulaire d'un doctorat en physique de l'Université de Technologie Belfort-Montbéliard. Elle a rejoint le BRGM en 2012. Elle est spécialiste des isotopes stables non-traditionnels (cuivre, zinc, argent), qu'elle utilise en particulier



D.R

pour tracer la circulation d'objets anciens, ainsi que les pollutions anthropiques dans les eaux de surface. Au cours de son parcours scientifique, elle a participé au développement d'un grand nombre de nouvelles méthodes analytiques en géochimie des éléments traces et des isotopes. Elle a notamment mis au point la mesure des compositions isotopiques en argent, un outil innovant jusqu'à présent peu développé dans les laboratoires français et étrangers.

DUHAMEL-ACHIN Isabelle



D.R

Isabelle Duhamel-Achin est géologue spécialisée en caractérisation physico-chimique des minerais et matériaux. Elle est titulaire d'un doctorat en géosciences de l'Université de Lorraine qu'elle a obtenu en 2010. Elle a travaillé en recherche et développement pour l'industrie minière dans le domaine de la prospection et de l'évaluation des ressources minérales naturelles (uranium, manganèse, nickel, niobium, titane, lithium et terres rares), ainsi que sur les processus d'amélioration des procédés de traitement minéralurgique et métallurgique. Depuis 2017, date de son arrivée au BRGM, elle est responsable de l'unité Connaissance et Exploration des gîtes minéraux à la direction des Géoresources. Elle est également membre du Comité pour les métaux stratégiques (COMES) et du conseil d'administration de la Société de l'industrie minière (SIM).

Elle est également membre du Comité pour les métaux stratégiques (COMES) et du conseil d'administration de la Société de l'industrie minière (SIM).

ECKERT Sylvain



D.R

Ingénieur civil de l'École des Mines de Paris (1997), Sylvain Eckert est actuellement responsable des financements miniers, secteur Énergie et Ressources naturelles, au sein de la banque de Grande clientèle de Natixis. Il était auparavant ingénieur au sein de l'équipe des financements miniers de Natixis, responsable des

Diligences raisonnables des financements. Avant de rejoindre Natixis, il a eu un parcours de dix ans dans l'industrie minière, à la fois en ingénierie et en opération, en Afrique, au Canada et en France.

FLEURENCE Christophe

Christophe Fleurence est vice-président Business Development Africa, Total Eren.

Christophe Fleurence possède une expérience de plus de 20 ans dans le développement commercial de solutions d'énergies conventionnelles et renouvelables à l'in-



D.R

ternational. Ingénieur diplômé de l'ENSEM Nancy et de l'Université de Bath au Royaume-Uni, Christophe Fleurence débute sa carrière en 1992 par le management d'activités électro-techniques dans les territoires français d'outre-mer. Il rejoint ensuite la société Wärtsila, le leader finlandais en systèmes de production d'énergie pour les centrales

électriques, les navires et les installations off-shore. Après avoir managé le développement commercial de centrales thermiques en Amérique latine, puis les activités de services du groupe à Porto Rico et en Italie, il part en Afrique pour diriger des filiales implantées sur ce continent. En octobre 2014, Christophe Fleurence rejoint Total Eren (anciennement Eren Renewable Energy) pour mettre en place le développement de cette société en Afrique.

FOURNIER Éric



D.R

Éric Fournier est ingénieur métallogéniste-gîtologue au BRGM. Franco-canadien, Éric Fournier a travaillé pendant 8 ans en exploration aurifère au Canada avant de rejoindre le BRGM en 2017, intégrant l'équipe de Ressources minérales. Depuis, il est intervenu sur des projets internationaux du BRGM au Cameroun et en République démocratique du Congo

en tant qu'expert en exploration géochimique avant de prendre en charge un projet de levé géochimique en sédiments de ruisseaux en Guinée. Il met également son expertise à disposition des activités d'appui aux politiques publiques sur l'exploration et l'extraction de l'or alluvial en Guyane française.

GLOAGUEN Éric



D.R

Docteur en métallogénie, Éric Gloaguen est membre de l'UMR ISTO-BRGM.

Après une thèse consacrée à l'étude de gisements d'or atypiques, Éric Gloaguen a intégré, en 2006, le BRGM, pour exercer au sein du service Ressources minérales. Il intervient au titre des trois missions du BRGM : sa recherche scientifique, menée pour partie au sein de l'UMR ISTO,

a pour objet la compréhension des processus à l'origine des minéralisations hydrothermales et de celles liées au magmatisme. Dans le cadre de l'appui aux politiques publiques, il travaille principalement à la promotion des ressources minérales nationales pour la DGALN. Dans le cadre des projets commerciaux, il intervient en tant qu'expert métallogéniste dans des projets de recherche

en partenariat (Mongolie, Afrique de l'Ouest), des projets d'exploration minière (Guinée) ou de cartographie à finalité ressources (République du Congo), ainsi que dans des projets européens (H2020, EIT-RM) et des projets de formation (PanAfGeo).

KLOPPMANN Wolfram



D.R

Wolfram Kloppmann est chargé de mission scientifique au BRGM. Il est titulaire d'un doctorat en hydrogéochimie isotopique de l'Université Paris XI et d'une Habilitation à diriger des Recherches de l'Université d'Orléans. Il a rejoint le BRGM en 1996. Ses spécialités comprennent la chimie et les caractéristiques isotopiques des fluides

naturels profonds, les eaux souterraines et les ressources en eau non conventionnelles, les interactions eau-roches dans les aquifères cristallins et sédimentaires, la contamination des ressources en eau, la paléohydrologie ou encore la traçabilité des géomatériaux, en particulier la dégradation des pierres de construction dans le domaine du patrimoine culturel. La plupart de ses travaux de recherche portent sur l'utilisation d'isotopes environnementaux. Il est l'auteur et le coauteur de plus de 150 publications, dont 70 articles de rang A (h-index 21).

LACH Philippe



D.R

Philippe Lach est ingénieur de recherche au BRGM. Il est titulaire d'un doctorat en géosciences de l'Université de Lorraine qu'il a obtenu en 2012. Il a rejoint le BRGM en 2015. Ses spécialités comprennent la caractérisation élémentaire et isotopique *in situ* pour la compréhension des minéralisations liées aux circulations de fluides en contextes

hydrothermal, magmatique-hydrothermal et métamorphique, la géochronologie et le traçage de source minéralogique et des interactions fluide/roche. Il est l'auteur et le co-auteur d'une dizaine d'articles publiés dans des revues internationales.

LEFEBVRE Gaétan



D.R

Géologue et analyste des marchés des métaux, Gaétan Lefebvre, après un double cursus en géologie et économie, exerce au BRGM, depuis 2014, des activités de veille économique et d'intelligence minérale sur les marchés de nombreux métaux. Il a notamment contribué à établir les critères permettant d'évaluer la criticité de certains matériaux

pour le compte d'acteurs institutionnels (DG GROW) ou industriels français. Il participe régulièrement aux travaux du Comité pour les métaux stratégiques (COMES).

LEGUÉRINEL Mathieu

Géologue et analyste des marchés des métaux, Mathieu Leguérinel a intégré le BRGM en 2017. Au sein de l'équipe d'intelligence minérale, il s'est spécialisé dans l'analyse et le suivi des marchés des métaux précieux (or, argent, platinoïdes). Il s'intéresse à la chaîne de valeur de ces métaux, de leur extraction à leur recyclage, pour le compte des ministères de tutelle ou d'acteurs privés. Il effectue également des missions à l'international, notamment en Guinée, en tant que géologue des ressources minérales ; et il participe régulièrement aux travaux du Comité pour les métaux stratégiques (COMES).

MATHEUS Philippe



D.R

Titulaire d'un BTS de géologue prospecteur de l'École nationale supérieure de géologie de Nancy et d'un diplôme d'ingénieur de la section d'études géologiques et minières de l'École nationale supérieure des Mines de Paris, Philippe Matheus intègre le Bureau de recherche géologique et minière (BRGM) en 1977.

Durant 15 ans, il y occupera successivement des postes de géologue, de chef géologue et de chef de mission, sur différents projets réalisés en Afrique pour le compte du BRGM dans les domaines suivants : recherche et développement minier, traitement et valorisation des minerais, cartographie géologique, hydrogéologie...

Sa double casquette de géologue d'exploration et de minéralurgiste l'amènera en Guyane, en 1986, où il sera chargé du démarrage et du suivi du pilote de lixiviation en tas de la mine de Changement (commune de Roura), qui conduira à la mise en place d'une unité de cyanuration sur cette mine.

C'est le début d'une longue histoire d'amour avec la Guyane qui se poursuit encore aujourd'hui.

En 1992, il quitte le BRGM pour prendre la direction de la société Texmine à Cayenne, en Guyane, où il sera chargé de la mise en exploitation et du développement de la mine d'or alluvionnaire de Dieu-Merci au sud du village de Saint-Élie, au cœur de la Guyane. Il mènera en parallèle les prospections qui conduiront à la découverte des gisements primaires du secteur de Dieu-Merci, qui sont actuellement exploités par la société Auplata.

Après un séjour dans l'Hexagone entre 2000 et 2010, où il occupera différentes fonctions de direction, notamment chez Temsol, société spécialisée dans les fondations, il revient en Guyane, en 2010, pour occuper le poste de directeur d'exploitation de la Compagnie minière de Boulanger (CMB), fonction qu'il continue d'exercer aujourd'hui. À ce titre, il est en charge du suivi des travaux d'exploitation,

ainsi que de l'exploration alluvionnaire et primaire sur les titres miniers détenus par la CMB.

Il occupe également les fonctions de :

- vice-président du groupement des Sociétés minières de Guyane (GSMG), depuis 2011 (il en a été le président fondateur en 1995) ;
- membre du conseil d'administration de la FEDOMG (Fédération des opérateurs minières de Guyane), depuis 2010 ;
- président de la grappe d'entreprises ORKIDE, depuis 2013.

MELLETON Jérémie



D.R

Jérémie Melleton est docteur en géochronologie.

Après une thèse basée sur l'étude de la chaîne varisque, Jérémie Melleton a été engagé en 2009 par le BRGM, exerçant au sein du service Ressources minérales en qualité de chercheur post-doctorat. Il a consacré ses travaux aux gisements de métaux rares (Li, Ta, Nb, Be, Sn)

de la chaîne varisque européenne. Il a ensuite intégré ce service en qualité de permanent, consacrant ses travaux au développement et à des tests de méthodes d'exploration géochimique (sol, plante, eau), ainsi qu'aux minéraux indicateurs. Il continue de s'intéresser en parallèle à l'évolution de la chaîne varisque et aux minéralisations associées. Dans le cadre de projets d'appui aux politiques publiques, il travaille principalement à la promotion des ressources minérales nationales et à la caractérisation de l'état des milieux des anciennes exploitations minières du territoire national.

MOREL-DELEDALLE Myriame



D.R

Historienne et archéologue de formation, Myriame Morel-Deledalle, après avoir participé aux fouilles archéologiques du chantier de la Bourse (Marseille), a été nommée conservateur-directeur du Musée d'Histoire de Marseille qu'elle a dirigé dès son ouverture en 1983 et a développé jusqu'en 2007. Elle est aujourd'hui conservateur en chef

du patrimoine. Elle a assuré au Mucem le commissariat des expositions « Splendeurs de Volubilis », « Migrations divines », « Connectivités » et « Or ».

O'HALLORAN Sharyn

Dr. Sharyn O'Halloran is the George Blumenthal Professor of Political Economy, Professor of International and Public Affairs, and Vice Dean and Chief Academic Officer in the School for Professional Studies. A political scientist and economist by training, Dr. Sharyn O'Halloran has written extensively on issues related to the political economy of



D.R

international trade and finance, regulation and institutional reform, economic growth, democratic transitions, and the political representation of minorities.

Dr. Sharyn O'Halloran received a B.A. degree in economics and political science from University of California San Diego. She then went on to receive her M.A. and Ph.D., also from University of California San Diego.

Her publications include *Politics, Process and American Trade Policy* (University of Michigan Press), *Delegating Powers* (Cambridge University Press), *The Future of the Voting Rights Act* (Russell Sage Foundation), as well as numerous journal articles on administrative procedures and agency design, with application to U.S. trade and financial regulatory policy, including those published in the *American Journal of Political Science*, the *American Political Science Review*, *International Organization*, *Yale Law Journal*, *NYU Law Journal*, and the *Journal of Law, Economics and Organization*.

PFISTER Christian



D.R

Directeur général adjoint des Statistiques de la Banque de France depuis janvier 2013, Christian Pfister occupait auparavant les fonctions de directeur général adjoint des Études et des Relations internationales. Il préside le Comité de normalisation obligatoire (CNO). Il enseigne à Sciences-Po (École d'Affaires publiques, cours « Financial Stability », avec Françoise Drumetz). Il a publié principalement sur la politique monétaire, la stabilité financière, le financement, l'épargne et les statistiques. Il est diplômé des Hautes Études commerciales (HEC) et de Sciences-Po.

REICHEL Victoria



D.R

Victoria Reichel travaille avec IMPACT (anciennement Partenariat Afrique Canada), une organisation non-gouvernementale basée à Ottawa (Canada) qui est un chef de file dans le domaine de la gestion environnementale et de la promotion de la paix. Elle y exerce en tant que conseillère technique : elle y gère des projets, avec un intérêt particulier pour l'autonomisation des femmes et l'inclusion financière.

Victoria Reichel est économiste et spécialiste des chaînes d'approvisionnement. Avant de se joindre à IMPACT en 2015, elle a travaillé pour Fairtrade Canada contribuant

à créer des chaînes d'approvisionnement traçables et éthiques dans le secteur du café et des secteurs non alimentaires (or, coton, ingrédients cosmétiques). Elle a auparavant œuvré dans de nombreux centres de recherche, en France notamment, où elle a axé son travail sur les pratiques participatives dans les situations de conflit environnemental dans une variété de secteurs, dont l'usage des sols, la gestion des eaux et l'exploitation minière. Victoria Reichel est titulaire d'une maîtrise en économie environnementale de l'École des hautes études en sciences sociales (EHESS) à Paris et d'une maîtrise en médiation des connaissances environnementales de l'Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines (UVSQ).

ROURE Françoise

Contrôleur général économique et financier, le Dr. Françoise Roure est la présidente de la section Sécurité et Risque du Conseil général de l'Économie (CGE) au ministère de l'Économie et des Finances. Elle a créé et présidé la section Technologies et Société du CGE, après avoir présidé la section Économique et Juridique du Conseil général des Technologies de l'information. Elle est vice-présidente du groupe de l'OCDE sur les biotechnologies, les nanotechnologies et les technologies convergentes.

ROUSSEAU Michèle



D.R

Diplômée du Corps des Mines en 1983, Michèle Rousseau débute sa carrière à la DRIRE Nord-Pas-de-Calais en tant que chef de la division Environnement avant de travailler en administration centrale au ministère de l'Environnement dans le domaine des déchets et au ministère de l'Industrie dans celui de l'électronique.

De 1995 à 1998, Michèle Rousseau est directeur adjoint à la direction de la Sûreté des installations nucléaires. Elle est notamment en charge du contrôle de l'ensemble du parc nucléaire d'EDF.

De 1998 à 2001, elle prend le poste de directrice générale adjointe de l'Agence nationale pour la valorisation de la recherche (ANVAR) et se consacre à l'aide aux projets innovants des PME.

De 2001 à 2005, Michèle Rousseau devient directrice de la Demande et des Marchés énergétiques à la direction générale de l'Énergie et des Matières premières. Elle est en charge de l'ouverture à la concurrence des marchés du gaz et de l'électricité, de la programmation pluriannuelle des investissements en électricité, des tarifs d'achat des énergies renouvelables et des économies d'énergie.

Elle est administrateur d'EDF et de l'Ademe, Commissaire du Gouvernement auprès de GDF.

En 2005, Michèle Rousseau prend le poste de Secrétaire générale du ministère de l'Écologie et du Développement durable, puis en 2008 celui de directrice, Commissaire générale adjointe au Développement durable pour mettre

en œuvre le Grenelle de l'Environnement. Elle devient également administrateur de l'Agence européenne de l'Environnement, d'Aéroports de Paris, de l'Institut français du pétrole et du groupe Safran.

En 2011, Michèle Rousseau est directrice générale de l'Agence de l'eau Seine-Normandie.

En 2016, elle rejoint le Conseil général de l'Environnement et du Développement durable et devient présidente de la MRAe Hauts-de-France.

Michèle Rousseau est, depuis mars 2017, présidente-directrice générale du BRGM, qui est le service géologique national et l'établissement public de référence pour les géosciences (1000 personnes, 130 M€, 27 implantations). Elle est administrateur d'EDF.

SCHAMING Delphine



D.R

nanomatériaux pour des applications en catalyse, photo- et électro-catalyse.

Ancienne élève de l'École normale supérieure de Cachan, agrégée de chimie (2006) et titulaire d'un doctorat de l'Université Paris-Sud (2010), Delphine Schaming rejoint, en 2012, l'Université Paris Diderot, où elle occupe actuellement un poste de maître de conférences. Ses travaux de recherche portent sur l'utilisation de nanoparticules et