

Prendre de l'acier pour de l'orImaginaire et procédés métallurgiques du Moyen Âgeau XVIIIe siècle

Nicolas Thomas

▶ **To cite this version:**

Nicolas Thomas. Prendre de l'acier pour de l'orImaginaire et procédés métallurgiques du Moyen Âgeau XVIIIe siècle. Hypothèses, 2006, 2005, pp.175-186. halshs-00131302v2

HAL Id: halshs-00131302
https://shs.hal.science/halshs-00131302v2

Submitted on 17 Feb 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

• THOMAS N., Prendre de l'acier pour de l'or : imaginaire et procédés métallurgiques du Moyen Âge au XVIII^{e} siècle, dans *Hypothèses 2005*, Paris : Publications de la Sorbonne, 2006, p. 175-186.

Prendre de l'acier pour de l'or
Imaginaire et procédés métallurgiques du Moyen Âge au XVIII^e siècle

Nicolas THOMAS*

Si nous définissons l'imaginaire comme un ensemble de représentations fictives et illusoires, alors l'alchimie fait partie de ce monde du rêve dans la conscience populaire. Cette association entre alchimie et rêverie a trouvé une expression dans le positivisme du XIX^e siècle et une forme très aboutie chez Marcellin Berthelot, un des premiers historiens de l'alchimie[1]. Toutefois, les alchimistes ne se considéraient pas comme des rêveurs. L'objectif ultime de l'alchimiste, celui de réaliser la transmutation des métaux, était bien plus un projet, voire un espoir d'accélérer les œuvres de la nature au moyen de l'art. De plus, cet art ne peut être réduit à la transmutation, d'une part parce que cette réalité était discutée, ensuite parce que l'alchimie ne se réduisait pas à cela. Il n'y avait pas de différence entre chimie et alchimie au Moyen Âge. Dans un sens étendu, l'alchimie était à la fois une science concernant tout le monde inanimé et une pratique consistant en la reproduction des produits naturels[2]. L'histoire de l'alchimie

* Prépare une thèse sous la direction de Paul Benoit, Université Paris I Panthéon-Sorbonne, *Le laboratoire alchimique et la petite métallurgie au Moyen Âge et à la Renaissance*. Institut National de Recherches Archéologiques Préventives.

1. « La chimie […] débute par des imaginations extravagantes sur l'art de faire de l'or et de transmuter les métaux ; ses premiers adeptes sont des hallucinés, des fous et des charlatans, et cet état de choses dure jusqu'au XVIII^e siècle, moment où la vraie doctrine remplace l'antique alchimie. » M. BERTHELOT, *Les Origines de l'alchimie,* Paris, 1885, réimpression Bruxelles, 1983, p. IX.

2. C'est une définition du XIII^e siècle : « Il y a l'alchimie spéculative, qui observe tout ce qui est inanimé et l'ensemble des choses provenant des [quatre] éléments. Tandis qu'il y a une alchimie opérative ou pratique qui enseigne comment faire du métal précieux et des couleurs, et beaucoup d'autres choses [au moyen de l'art] meilleures et en plus grande quantité que par la nature. » *Alkimia speculativa, quae speculatur de omnibus*

peut donc s'inscrire résolument dans une histoire des techniques. Que l'on isole le fait technique proprement dit, en l'occurrence la recette qui est la plus petite partie du discours alchimique formant une unité renvoyant à une pratique, ou que l'on prenne en compte le discours qui la commente ou même la justifie, l'imaginaire demeure plus ou moins caché comme une forme de représentation des artefacts et des processus. Ainsi, l'imaginaire n'apparaît plus seulement comme une rêverie dissociée du réel, mais également une manière de penser le réel et de se le représenter. Dans ce sens, l'imaginaire est formatif : il participe à la construction et à la connaissance du monde. Toutefois, et inversement, il peut aussi devenir un obstacle à la compréhension de certains phénomènes. Ainsi, l'affinage des métaux précieux par cémentation participe directement à la production de représentations qui sont autant de modes de pensée partagés dans l'imaginaire des praticiens, mais aussi des savants du Moyen Âge. Les représentations issues de la métallurgie des métaux précieux sont décelables dans le discours sur l'acier produit par cémentation du fer. Certainement en partie du fait de l'analogie des procédés, l'acier fut longtemps considéré comme du fer plus pur que le fer doux. Or nous savons aujourd'hui que l'acier est un alliage de fer et de carbone, où ce dernier élément représente entre 0,3 % et 2 % de la composition. Dans la définition moderne de la cémentation, le cément est une matière solide, liquide ou gazeuse que l'on chauffe au contact d'un métal et qui, en se décomposant, permet de faire diffuser à haute température un ou plusieurs de ses éléments dans la partie superficielle du métal. De nos jours, la cémentation est surtout un procédé d'élaboration de l'acier à partir du fer. Le terme n'est plus utilisé pour l'affinage de l'or et de l'argent.

L'affinage de l'or ou de l'argent au moyen d'un cément. Le procédé d'affinage de l'or et de l'argent par cémentation est très ancien. Des vestiges archéologiques viennent confirmer son utilisation au VI^e^ siècle av. J.-C.[3] Les sources écrites décrivant la recette sont nombreuses entre l'Antiquité et le XVIII^e^ siècle, moment où l'opération tombe en désuétude car définitivement remplacée par des moyens plus efficaces. Toutefois, le vocable *cementum* est utilisé en métallurgie seulement à partir du XIII^e^ siècle. Il s'applique en premier lieu à l'affinage de l'or et de l'argent et non au fer. Dans sa *Summa perfectionis*, au chapitre *Sermo particularis in cemento*, pseudo-Geber, un

inanimatis et tota generatione rerum ab elementis. Est autem alkimia operativa et practica, quae docet facere metalla nobilia et colores, et alia multa melius et copiosius quam per naturam fiant. Roger Bacon, *Opus Tertium*, xii, dans *Fr. Rogeri Bacon Opera quaedam hactenus inedita*, J. S. BREWER éd., Londres, 1859, p. 40.

3. A. RAMAGE et P. T. CRADDOCK, *King Croesus' Gold, Excavations at Sardis and the History of gold Refining,* Londres, 2000.

alchimiste du XIII^e^ siècle, donne la recette[4]. Le cément est fait à partir de matières inflammables qui brûlent. Le texte désigne la composition du cément sans toutefois préciser les quantités. Il préconise l'utilisation de vitriol, un sulfate de cuivre ou de fer, du sel ammoniac, c'est-à-dire du chlorure d'ammonium, de la fleur d'airain qui est de l'oxyde de laiton ou de cuivre, éventuellement du soufre et de l'urine. Ces matières sont mélangées à de la poudre de brique. Le métal doit être mis au contact du cément, dans un creuset, sous la forme de lamines, dans le but d'offrir le maximum de surface libre à l'action du cément. Le creuset est fermé hermétiquement avec du lut, qui est le plus souvent une composition réfractaire à base de terre argileuse et de dégraissants sableux et organiques. C'est la disposition des lames de métal entourées de cément qui rappelle celle des moellons enrobés de mortier ou de ciment dans un appareil de maçonnerie qui a donné le nom à l'opération. L'auteur avertit que la température doit être élevée au point que le métal doit rougir, mais surtout il faut éviter d'atteindre la température de fusion du métal ou de l'alliage. La cémentation doit durer trois jours. À la fin, l'auteur précise que si le métal n'est pas noble, s'il ne contient ni or ni argent, alors il sera complètement consumé. Nous retrouvons dans cette recette les caractéristiques de la cémentation telle qu'elle est définie de nos jours : c'est un traitement de surface d'un métal demeurant à l'état solide à hautes températures pendant une longue durée. Toutefois, quelques éléments diffèrent nettement de la définition moderne. D'une part, il ne s'agit pas de faire diffuser un élément à l'intérieur du métal proprement dit, mais plutôt d'enlever au métal ce qui est impur. D'autre part, pour faire sortir les impuretés, l'image utilisée est celle d'un feu, et non d'un élément, qui va pénétrer le métal noble et brûler ce qui n'est ni or ni argent. Pour notre alchimiste, il existe en fait clairement deux feux : celui du foyer, qui va élever la température du creuset et celui dans le creuset, ou plus précisément dans le cément, qui va brûler les métaux vils. En termes modernes, cette cémentation de l'or et de l'argent permet de purifier effectivement le métal en attaquant sa surface. L'or et l'argent sont moins

4. *Dicimus igitur quoniam illius* [le cément] *est compositio ab inflammabilibus rebus, et sunt huius generis res omnes denigrantes et fugientes et penetrans et comburentes, sicut est vitriolum, sal armoniacus et eris flos et lapis figuli antiquus contritus, et sulphuris minima quantitas aut nihil, et virilis urina et similibus acutis et penetrantibus. Incementatur igitur hec omnia cum urina virili et super illius tabellas tenues de cuius sit intentione probationis huius examinis iudicio percunctari. Dehinc vero in fictili concluso vase super cratem ferream extendantur tabelle ita tamen quod una ex eis alteram non tangat, ut libere ignis virtus ad illas parcurrat equaliter. Et sic triduo in igne forti conservetur fictile. Cautela tamen adhibeatur ut igniantur tabelle sed non fundantur. Post tertiam autem diem tabellas omni mundas impuritate invenies, si in perfectione illarum extiterit corpus. Si vero non, corruptas omnino et calcinatione combustas*, W. R. NEWMAN, *The* Summa perfectionis *of Pseudo-Geber. A critical Edition, Translation and Study,* Leyde, 1991, p. 604-606.

altérables que les autres métaux. Le zinc peut être vaporisé, le cuivre former des sels métalliques avec le cément, comme des chlorures, des sulfures ou encore des sulfates. À l'issue de l'opération, la lamine contient donc plus de métal précieux que de métaux moins nobles. Plus les lamines sont fines, plus l'affinage est efficace. Dans le cas d'un alliage à bas titre, l'opération doit être réalisée plusieurs fois.

Justification de la cémentation par les alchimistes. Dans le texte déjà cité, pseudo-Geber explique ainsi l'épreuve de la cémentation :

> « Nous avons dit auparavant que des corps sont plus combustibles sous l'effet de la calcination, que d'autres le sont moins, que ceux qui contiennent plus de soufre sont plus combustibles, et que ceux qui en ont moins le sont moins [combustibles]. Par conséquent, le soleil [l'or] étant celui de tous les corps qui possède le moins de soufre, il est celui qui est le moins combustible de tous les minéraux par le feu de la flamme. La lune [l'argent], après le soleil, ayant moins de soufre que les corps restants, en ayant plus que le soleil, alors il [l'argent] ne peut pas supporter aussi longtemps le feu de la flamme que le soleil. […] Cela étant, le cément étant composé de choses inflammables, la cause de son invention est évidente, à savoir que tout ce qui est combustible [dans les corps] est brûlé. Puisqu'il n'y a qu'un seul corps qui ne soit pas combustible, seul celui-ci, ou un autre dont la nature est proche, est préservé par le cément. »[5]

La recette est donc complétée par une *theorica* qui la justifie. Le raisonnement s'appuie sur des présupposés très généraux décrivant la composition de la matière. Les métaux, formés dans la terre, sont composés de soufre et de mercure. Il s'agit d'une représentation binaire des métaux héritée directement de l'alchimie arabe qui se superpose à l'image aristotélicienne de la matière composée des quatre éléments, eau, terre, air et feu. Le pseudo-Geber s'inspire directement du *Liber de septuaginta*, traduction latine du *Livre des soixante-dix* attribué à Jābir ibn Hayyān[6].

---

5. *Dicimus igitur quoniam corpora quedam magis, quedam vero minus per ignis comburuntur calcinationis modum, ut que pluris sunt sulphuris quantitatem combustibilis continentia, magis, que vero minus, minus. Quia sol igitur inter cetera corpora minoris est sulphuris quantitatis, ideo inter cetera corporum omnium mineralium minime per ignis inflammationem comburitur. Luna vero post solem inter omnia corpora reliqua minus est sulphuris quantitate participans, pluris autem quam sol. Igitur minus potest secundum hoc inflammationnis ignitionem longo temporis spatio tollerare quam sol* […] *Cum igitur ex rebus constituatur inflammabilibus cementum, patet causa illius inventionis necessaria, et fuit scilicet ut omnia combustibilia adurentur. Cum igitur unum solum sit corpus non combustibile, solum igitur illud aut ad illius naturam preparatum in cemento salvatur*, W. R. NEWMAN, *op. cit.*, p. 601-604.

6. P. KRAUS, *Jâbir et la science grecque*. Le Caire, 1942. Réed. sous le titre *Jâbir ibn Hayyân, Contribution à l'histoire des idées scientifiques dans l'islam*, Paris, 1986 ; P. LORY, *Jâbir ibn Hayyân – Dix Traités d'alchimie-Les dix premiers traités du Livre des Soixante-*

Cependant, le pseudo-Geber se distingue nettement des conceptions jabiriennes par l'importance qu'il donne au mercure comme constituant des métaux. Chez Jābir, si l'or ne brûle pas, c'est que le soufre qui le compose est beaucoup plus subtil et que la composition de l'or, entre soufre et mercure, est bien équilibrée[7]. Chez l'alchimiste latin, les métaux contenant plus de soufre combustible brûlent plus que ceux qui en contiennent moins. En clair, c'est la présence de soufre qui rend les métaux combustibles. Or, l'or est composé de moins de soufre combustible, donc très logiquement, il ne brûle pas. C'est pourquoi l'or est considéré comme un métal parfait. L'argent est moins parfait que l'or, mais plus que les autres métaux. La conclusion est donc qu'il résistera moins que l'or à l'action du feu, mais plus que les autres métaux moins parfaits. Nous pouvons donc retrouver ces présupposés : les métaux sont composés de soufre et de mercure, ce qui brûle est impur, le soufre est plus combustible que le mercure, plus un métal est parfait, moins il contient de soufre, moins un métal est parfait, plus il est susceptible de brûler. Cette position privilégiée du mercure est présente dans toute la *Summa*. De ce qui précède, nous pourrions en déduire comme l'auteur : « à cause de cela, le mercure est ce qui donne la perfection, ce qui empêche de brûler, et il est le plus haut degré de la perfection »[8] ; ou encore : « il est évident qu'une grande quantité de mercure est la cause de la perfection, une grande quantité de soufre de la corruption »[9]. D'autre part, dans la *Summa*, on trouve la présence d'une théorie corpusculaire de la matière[10]. Ainsi, les métaux sont composés de minuscules parties, *minimae partes*, séparées par des pores. Pour l'or, les parties sont très resserrées, ce qui fait que l'or est pesant[11]. Cette théorie vient également justifier indirectement la cémentation. En effet, plus les pores sont ouverts, plus le feu du cément peut pénétrer le métal. Chez Albert le Grand, cette explication accompagne la recette de la cémentation de l'or[12].

---

dix, Paris, 1983 ; édition du texte latin dans M. BERTHELOT, *Archéologie et histoire des sciences,* Paris, 1906, p. 310-363.

7. P. KRAUS, *op. cit.*, p. 1 et suiv.

8. *Ideoque relinquitur ipsum argentum vivum esse perfectivum et adustionis salvativum, quod est perfectionis ultimum*, W. R. NEWMAN, *op. cit.*, p. 465.

9. *Ex precedentibus patet ergo quoniam multa quantitas argenti vivi est causa perfectionis, sulphuris vero multa quantitas causa corruptionis est*, W. R. NEWMAN, *op. cit.*, p. 474.

10. W. R. NEWMAN, « L'influence de la *Summa perfectionis* du Pseudo-Geber », dans *Alchimie et philosophie à la Renaissance, Actes du colloque international de Tours, décembre 1991*, Paris, 1993, p. 65-77.

11. *Ideo potuerunt partes eius multum densari ; et hec fuit causa sui magni ponderis*, W. R. NEWMAN, *op. cit.*, p. 474.

12. Albert le Grand n'explique pas autrement la cémentation de l'or : *Sulphur ipsum quadam subtili affinitate sulphuris ad quam vicinantur omnia metalla, omnia eorum perurit corpora et incinerat, aurum vero non : pori nanque ejus arcti sunt et indissolubiles. B. Alberti Magni, Ratisbonensis episcopi, ordinis praedicatorum Opera omnia,*

Theorica *et imaginaire*. Le discours de l'alchimiste est plus prompt à fournir des réponses qu'il ne pose de questions. C'est une construction qui explique ce que l'on ne voit pas dans le creuset fermé, mais aussi dans la matière elle-même. Il serait tentant de conclure que l'imagination est particulièrement active quand il s'agit de construire un discours sur ce qui est caché. En l'occurrence, il semble s'appuyer au moins partiellement sur un fait observable très facilement après cémentation : l'altération visible à la surface des métaux. Moins l'alliage contient de métal noble, plus il sera altéré. Toutefois, la terminologie utilisée est ici significative. L'observation du fait et sa verbalisation sont lourdes de sens : l'altération n'est pas comprise comme la formation de composés métalliques, oxydes ou sels, mais le résultat de l'action du feu. Les métaux sont modifiés sous l'action du feu, le feu brûle, donc les métaux sont brûlés. La description du fait n'est pas neutre. Pour reprendre l'analyse de Gaston Bachelard, le premier obstacle épistémologique, c'est donc ici l'expérience première[13]. L'observation n'est pas débarrassée d'un contenu subjectif, bien au contraire, nous voyons clairement l'imaginaire participer à la construction d'une observation faussement objective. Il n'est pas utile d'analyser ici en détail ce qui relève des valeurs primitives dans le discours alchimique, notamment en ce qui concerne le feu et sa perception. C'est bien dans l'imaginaire que l'on peut déceler le plus facilement cette représentation d'un feu qui brûle et surtout qui purifie. Encore aujourd'hui, nous trouverions assez facilement des vestiges de ces croyances dans l'imaginaire populaire, dans les techniques et même dans les sciences[14]. Ainsi, il n'est nullement besoin d'étudier le contenu psychologique des représentations à l'œuvre dans le raisonnement pour montrer la place qu'il tient dans cet effort de rationalisation. Toutefois, nous pouvons nous attarder sur la conception binaire de la nature, pour remarquer qu'elle trouve aussi des correspondances dans ce qu'il y a de plus intime et de plus profond dans la conscience. Depuis longtemps, la génération de la matière inanimée a été expliquée par analogie avec l'animal[15]. La matière étant composée de l'union du soufre et du mercure, il

---

A. BORGNET éd., Paris, 1890, vol. 5, p. 93. On trouve également cette idée dans le Livre IV des *Météorologiques* d'Aristote : « sont combustibles ceux [les corps] qui ont des pores susceptibles de recevoir du feu », IV, 9, 387a.

13. G. BACHELARD, *La Formation de l'esprit scientifique, contribution à une psychanalyse de la connaissance objective*, 4[e] éd., Paris, 1965, p. 15.

14. Outre G. BACHELARD, *La Psychanalyse du feu,* Paris, 1938, nous renvoyons à des études plus particulières comme A. BRATU, « Du feu purificateur au purgatoire », *Terrain-Carnet du patrimoine ethnologique,* 19 (1992), p. 91-101.

15. PLINE, *Histoire naturelle,* XXXIV, 49 : l'exploitation d'une mine devait être interrompue pendant quelques années afin de donner à d'autres minerais le temps de croître. Voir G. BACHELARD, *op. cit.,* p. 155-158, ; H. METZGER, *Les Doctrines*

n'y a pas loin à imaginer comment cette union pouvait s'opérer. Certes, certains pourraient nous objecter que l'on ne peut « déduire d'une expression métaphorique une attitude mentale [en arguant que cela conduirait à] désigner comme animiste quiconque parle des fiches mâle et femelle d'une prise électrique »[16]. Mais si l'objectif d'une métaphore est de produire une image explicative d'un phénomène, ce que nous voulons bien accorder à l'auteur de cette dernière citation, on ne peut nier le rôle de l'imaginaire dans cette construction. Réduire l'allégorie à une simple image explicative d'un phénomène ou encore à une énigme visuelle permettant d'occulter un secret, c'est oublier comment l'allégorie est construite. Le « pourquoi » ne permet pas de se débarrasser du « comment ». En amont, l'imaginaire n'est pas étranger à la production de l'image, il y participe même activement. De même, l'allégorie n'est jamais neutre, elle parle d'abord à l'imaginaire de celui à qui elle s'adresse avant de susciter une quelconque construction analytique pouvant permettre l'accès à une vérité objective. C'est précisément ce qui fait la force de l'allégorie que d'être un contenant de pensée et d'autoriser un accès immédiat aux choses.

L'acier de cémentation. Au Moyen Âge, l'acier peut être produit par chauffage du fer au milieu des charbons suivi ensuite d'une trempe. Seule la partie active d'un outil en fer, comme le tranchant d'un couteau ou d'un rasoir, peut être aciérée au moyen d'un dépôt de matières organiques protégé par une terre argileuse ; le tout est ensuite placé dans un four pour la cémentation proprement dite. Des procédés plus obscurs et complexes abondent également dans la littérature alchimique, comme dans la *Sedacina* du XIV^e^ siècle. Il s'agit aussi de cémentation et l'analogie avec les métaux précieux est perceptible dans la chaîne opératoire, dans la composition du cément, et dans le produit obtenu :

> « Prends autant que tu veux d'ail cru de belle qualité, pile-le […] en y ajoutant une même quantité de sel ordinaire et d'alun du Yémen séparé et fais bouillir dans du vinaigre distillé ; éteins dans ce vinaigre des lamelles très fines d'acier mises au feu jusqu'à ce qu'elles soient blanches comme l'argent. Puis cémente-les [*cementa*] dans la prison de *geos* avec une même quantité d'euphorbe et de vernis en poudre et, après avoir fermé la prison, mets à fondre […] tu obtiendras quatre marcs et demi du plus pur argent, qui résiste à tout essai. »[17]

---

chimiques en France du début du XVII^e^ à la fin du XVIII^e^ siècle, Paris, 1969, p. 122-123 et 375.

16. B. OBRIST, *Les Débuts de l'imagerie alchimique (XIV^e^-XV^e^ siècles)*, Paris, 1982, p. 23.

17. *Carcer geos* : d'après la traductrice, il faut entendre ici un creuset de terre. Toutefois, Guillaume Sedacer emploie très souvent des termes plus communs comme *crucibulum* ou encore *testa* pour creuset, il y a donc un sens supplémentaire. Nous voyons plutôt une image désignant un creuset luté recouvert d'une terre argileuse. Cette dernière

Dans cette dernière recette, la confusion entre le fer, l'acier et l'argent est totale. Outre la survalorisation donnée à l'acier, nous pouvons nous interroger sur les procédés qui conduisent à la confusion des matières. S'agit-il ici d'un acte délibéré de l'alchimiste destiné à ne pas tout révéler ou à coder son discours, ou encore plus simplement, faut-il voir dans cette recette le résultat d'un compilateur lettré non praticien ? Quoi qu'il en soit, le texte montre que la relation entre l'auteur et le procédé qu'il décrit est largement construite grâce à l'imaginaire. De même, l'utilisation de la métaphore de la « prison de *geos* », tout à fait propre à l'auteur, n'est pas dénuée de signification. Les phénomènes se produisent dans un espace fermé qui échappe à l'observation. La cémentation renvoie au mystère des œuvres de la nature, ce qui peut laisser libre cours à l'imaginaire. Le rapprochement entre la cémentation du fer et celle des métaux précieux est également perceptible au travers des recettes de bain de trempe. L'analyse de ces recettes, de Pline à Paracelse, montre à la fois une grande variété dans la composition des bains et de certains ingrédients dont on sait aujourd'hui que les propriétés physiques sont discutables[18]. Il en est ainsi de l'urine et du sang. Si ces deux ingrédients peuvent faire varier les caractéristiques du bain, par exemple la viscosité, il est souvent spécifié qu'il faut du sang de bouc, ou de l'urine d'homme roux ou de fillette rousse… Chez Théophile, on trouve une recette visant à fabriquer de l'or espagnol[19]. Le mode opératoire, consistant à enduire une feuille de cuivre avec une certaine préparation, la passer au feu, puis la tremper, évoque à la fois le procédé de purification par cémentation et la trempe du fer[20]. La recette entretient une certaine confusion entre le fer et les métaux précieux : le cuivre est sous la forme d'une lamine, on obtient de l'or, on utilise des ingrédients à la fois mentionnés dans la purification de l'or et de l'argent et aussi dans la fabrication de l'acier, enfin on réalise une trempe dans un bain particulier.

---

interprétation est confirmée par la recommandation suivante : *clauso carcere*. L'expression serait donc à rapprocher du *lutum sapientiae* des alchimistes, qui est d'un emploi plus fréquent. P. BARTHÉLEMY, *La Sedacina ou l'œuvre au crible. L'alchimie de Guillaume Sedacer, carme catalan de la fin du XIV^e^ siècle,* Paris, 2002, vol. 2, p. 96.

18. R. HALLEUX, « Techniques et croyances dans les recettes antiques et médiévales de sidérurgie », dans *Les Mines et la métallurgie en Gaule et dans les provinces voisines, Actes du colloque - Caesarodunum XXII*, *Université de Tours, les 26 et 27 avril 1986*, Paris, 1987, p. 114-128.

19. *Essai sur divers arts, diversarum artium schedula,* C. DE L'ESCALOPIER éd., Nogent-le-Roi, 1977, p. 180-182 ; *Theophilus, The various arts, De diversis artibus*, C. R. DODWELL éd., Oxford, 1961, p. 96-98.

20. C. OPSOMER et R. HALLEUX, « L'alchimie de Théophile et l'abbaye de Stavelot », dans *Comprendre et maîtriser la nature au Moyen Âge, Mélanges d'histoire des sciences offerts à Guy Beaujouan,* Genève-Paris, 1994, p. 437-459.

L'imaginaire comme obstacle. Si aujourd'hui nous savons que l'acier est un alliage de fer et de carbone, il n'en a pas été toujours ainsi. Par exemple, pour Albert, l'acier n'est pas autre chose que du fer pur[21]. Il utilise l'image de la distillation, technique utilisée pour séparer et surtout pour purifier, afin d'expliquer que l'acier est la part la plus subtile du fer[22]. Sedacer ajoute que le soufre composant l'acier est plus pur et plus rouge que celui du fer, cette dernière explication rappelle ce que les alchimistes pensent de l'or[23]. Il est vrai que l'acier est plus dur et plus blanc que le fer doux. Les propriétés mécaniques de l'acier, meilleures que celles du fer, ne peuvent donc que conforter cette croyance : comment ce qui est meilleur pourrait-il ne pas être plus pur ? Pendant longtemps et bien au-delà du Moyen Âge, on attribua à l'acier ce caractère de pureté. Au XVI^e^ siècle, Vannoccio Biringuccio reprend l'expression du Grand Albert[24]. Cette croyance en un acier, plus pur que le fer, se retrouve chez la plupart des auteurs jusqu'à Buffon. Ce dernier s'est intéressé tardivement à la métallurgie comme savant et expérimentateur, mais aussi comme homme d'affaires puisqu'il avait investi une part de son patrimoine dans l'exploitation d'une forge[25]. Son opinion sur l'acier fabriqué par cémentation est assez éloquente :

> « On sait que le fer le plus pur est aussi le plus dense, et que le bon acier l'est encore plus que le meilleur fer : ainsi l'acier doit être regardé comme du fer encore plus pur que le meilleur fer ; […] Il est certainement plus pesant, plus magnétique, d'une couleur plus foncée, d'un grain beaucoup

21. On trouve déjà cette idée chez Aristote : « Mais le fer qu'on travaille fond même jusqu'à devenir liquide et se solidifier à nouveau. C'est d'ailleurs ainsi que l'on fait l'acier. Les scories se séparent et se déposent au fond. Lorsque le traitement a été répété plusieurs fois et que le métal est devenu pur, on obtient de l'acier. » *Météorologiques,* IV, 6. Voir également A. FRANCE-LANNORD, « La notion d'acier au cours des âges », dans *Actes des journées de Paléométallurgie à l'UTC de Compiègne, 22-23 février 1983*, Compiègne, 1983, p. 15-35 ; F. PICHON, « La notion d'acier depuis l'Antiquité », *La Technique moderne*, 8-4 (1989), p. 37-42.

22. *Chalybs autem non est alia species metalli quam ferrum, sed est subtilior et aquosior pars ferri ex ferro per distillationem extracta,* A. BORGNET, *op. cit.,* p. 95.

23. P. BARTHÉLEMY, *op. cit.,* p. 126.

24. « L'acier n'est autre chose que le fer par art bien purifié, et par la forte décoction du feu conduit en plus parfaite mixtion et qualité qu'il n'était premièrement » V. BIRINGUCCIO, *La Pyrotechnie ou art du feu* […] *traduite en François par Jacques Vincent*, Rouen, 1627, f^o^ 48r° ; C. S. SMITH et M. T. GNUDI, *Biringuccio. De la Pirotechnia 1540*, New York, 1990, p. 67 ; Agricola est un peu moins explicite : « Le fer que les Grecs nomme στόμωμα et les Romains *acies*, si je ne me trompe pas, est élaboré à partir du fer plusieurs fois fondu et complètement nettoyé de ses scories », GEORGIUS AGRICOLA De natura Fossilium*, Textbook of mineralogy, translated from the first latin edition of 1546,* M. C. BANDY et J. A. BANDY trad., New York, 1955, p. 182-183.

25. S. BENOIT et F. PICHON, « Buffon métallurgiste : regards de l'historien et du technicien », dans *Buffon 88, Actes du colloque international, Paris - Montbard - Dijon*, J. GAYON dir., Paris, 1992, p. 59-84.

> plus fin et plus serré, et il devient à la trempe bien plus dur que le fer trempé ; il prend aussi le poli le plus vif et le plus beau : cependant, malgré toutes ces différences, on peut ramener l'acier à son premier état de fer par des céments dont on s'est servi pour le convertir en acier, c'est à dire en se servant de matières absorbantes, telles que les substances calcaires, au lieu de matières inflammables, telle que la poudre de charbon dont on s'est servi pour le cémenter. »[26]

Outre le fait qu'en 1774, Buffon croit encore que l'acier est du fer purifié, si nous comparons son interprétation de la cémentation du fer à celles des métaux précieux, nous voyons clairement l'analogie s'opérer. La description du produit fini, l'acier, est marquée par des qualificatifs comme l'éclat ou la beauté qui sont à rapprocher de ceux utilisés pour l'or. Les grains composant l'acier sont très resserrés, ce qui évoque les anciennes théories corpusculaires sur la composition de l'or. De plus, dans la conversion du fer en acier, il sous-entend que le cément agit grâce à son inflammabilité, caractéristique justifiant la cémentation des métaux précieux. En revanche, dans la conversion de l'acier en fer, il applique un cément aux propriétés absorbantes : serait-ce pour retirer quelque chose de l'acier ? Ne serait-ce pas là aussi une cémentation purificatrice qui consisterait à enlever quelque chose au métal ? D'autre part, en observateur attentif, Buffon avait bien sûr remarqué que le fer cémenté présentait une augmentation de poids après l'opération. Si la cémentation du fer est une purification, alors l'acier, débarrassé des impuretés, devrait être plus léger que le fer doux. Buffon justifie ces deux contradictions au moyen d'une interprétation assez surprenante :

> « [La cémentation] doit achever de purifier le fer. Mais il y a quelque chose de plus, car, si le fer, dans cette opération qui change sa qualité, ne faisait que perdre sans rien acquérir […] il deviendrait nécessairement plus léger : or je me suis assuré que ces bandes de fer, devenues acier par la cémentation, loin d'être plus légères, sont spécifiquement plus pesantes, et que par conséquent elles acquièrent plus de matière qu'elles n'en perdent ; dès lors quelle peut donc être cette matière, si ce n'est la substance même du feu qui se fixe dans l'intérieur du fer, et qui contribue encore plus que la bonne qualité ou la pureté du fer à l'essence de l'acier ? »[27]

Si l'acier est plus lourd que le fer à l'issue d'une cémentation, c'est qu'il a absorbé du feu. Cette augmentation de poids compense largement les pertes en impuretés. Ainsi, dans la cémentation, que ce soit pour convertir

26. G. L. L. DE BUFFON, *Histoire naturelle des minéraux, du fer*, 1774, dans ID., *Œuvres complètes… avec les suppléments, augmentées de la classification de Cuvier*, t. 2, Paris, 1836, p. 442.
27. *Ibid.*

du fer en acier, ou pour convertir de l'acier en fer, Buffon ne voit qu'une opération où l'on retire quelque chose du métal. Le seul élément qui peut, selon lui, pénétrer le métal c'est le feu. Nous retrouvons là toutes les caractéristiques de la cémentation de l'or ou de l'argent telle qu'elle était perçue au Moyen Âge. Tout ce passe comme si la cémentation « purificatrice » empêchait de penser la cémentation « augmentatrice »[28]. Deux procédés dont les chaînes opératoires se ressemblent fortement conduisent à penser que les phénomènes sont semblables. Dans tous les cas, si l'on enferme un métal dans un creuset au contact d'un cément et que l'on met à chauffer l'ensemble, le feu va pénétrer à l'intérieur du métal pour le purifier. L'analogie pourrait paraître ici suffisante pour expliquer l'erreur d'interprétation. Cependant, il y a plus. En effet, Réaumur, dans un célèbre mémoire, avait déjà compris, plus de cinquante ans avant Buffon, que l'acier n'était pas du fer pur, mais un état intermédiaire entre la fonte et le fer. Il montra que le fer, en se transformant en acier, prend quelque chose du cément et non l'inverse :

> « Il est donc visible que des soufres, et des sels s'introduisent dans le fer qui est en place pour être converti en acier […] l'acier est un fer plus pénétré de soufres et de sels que le fer ordinaire […] et pour peu que cette idée, qui n'est appuyée sur aucunes preuves, donnât de scrupule, il seroit levé, si on se rappelle […] que le fer qui a été converti en acier a augmenté de poids. Cette augmentation quoyque peu considérable ne sçauroit être attribuée qu'aux nouvelles matières qui s'y sont introduites, et qui ne peuvent être que des portions de celles, dont il étoit environné. »[29]

En 1722, Réaumur n'avait pas compris le rôle du carbone dans la cémentation du fer, mais toute son argumentation tient à l'augmentation de

28. L'article « cémentation » de l'*Encyclopédie* distingue ainsi les deux cémentations, toutefois, il attribue au phlogistique l'augmentation de poids. La définition pourrait donc sembler très proche de celle de Buffon, pourtant les termes qualifiant et distinguant les deux opérations montrent que l'auteur de l'article a franchi l'obstacle épistémologique, il ne reste qu'à comprendre le rôle du carbone dans l'acier : « La cémentation du fer […] diffère beaucoup par son effet de la cémentation purificative de l'or & de l'argent […] ; elle ressemble beaucoup plus à la cémentation améliorative, transmutative, ou augmentative, en un mot alchimique, si cette dernière produisait l'effet attendu, qui est de porter dans son sujet la terre mercurielle, ou même le soufre solaire ou lunaire. On regarde l'effet de la *cémentation* sur le fer comme une espèce de réduction, ou plutôt de surréduction, s'il est permis de s'exprimer ainsi ; c'est-à-dire, d'introduction surabondante de phlogistique », *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*…, D. DIDEROT et J. L. R. D'ALEMBERT dir., Paris, 1751-1772.

29. R. A. FERCHAULT DE RÉAUMUR, *L'Art de convertir le fer forgé en acier et l'art d'adoucir le fer fondu ou de faire des ouvrages de fer fondu aussi finis que de fer forgé*, Paris, 1722, p. 208-209.

poids[30]. Il surmonte la contradiction exprimée plus tard par Buffon, en inversant l'interprétation. Il est assez significatif que l'on parle ici de scrupules pour qualifier les réticences affrontées car l'augmentation de poids est bien une preuve suffisante : elle a une valeur de démonstration. Or Réaumur n'est pas entendu, ce qui montre la puissance de l'analogie et de l'imaginaire véhiculé dans la compréhension d'un phénomène[31]. L'édition de 1762 du *Dictionnaire de l'Académie française* affirme encore que l'acier est le nom donné au fer lorsqu'il est parfaitement pur, et l'on pourrait multiplier ainsi les citations postérieures au mémoire de Réaumur pour montrer le peu de réaction favorable qu'il a eu. C'est que l'acier est précieux comme l'or, et l'effet qu'il produit sur l'imaginaire dépasse un simple rapprochement entre des opérations métallurgiques. Finalement, on pourrait être tenté de voir plus d'une correspondance entre l'acier et l'or, même si elles ne sont pas formulées aussi explicitement :

> « Tenu pour un fer purifié à la perfection, l'acier apparaissait autant comme un métal à obtenir que comme un idéal à atteindre. Acier est un mot fascinant. On peut dire que pendant des siècles l'acier a été un rêve, mais un rêve particulier puisqu'à certains moments, les métallurgistes obtenaient un état du fer dont la dureté et l'élasticité, renforcées par la trempe, étaient suffisantes pour qu'il méritât de s'appeler acier. C'était donc à ces moments un rêve réalisé. Le problème demeurait cependant entier de savoir comment et pourquoi. »[32]

Avant que sa production ne soit banalisée et parfaitement comprise, l'acier fut à l'origine de représentations proches de l'or et de l'argent. C'est dans l'imaginaire que l'on peut détecter les analogies entre les procédés et les métaux, et plus particulièrement dans le rêve et la quête de pureté qu'ils suscitèrent.

30. Il faut attendre les travaux du suédois Bergman en 1781 et le *Mémoire sur le fer considéré dans ses différents états métalliques* présenté à l'Académie des Sciences en 1786 par Vandermonde, Berthollet et Monge : C. S. SMITH, « The discovery of Carbon in Steel », *Technology and Culture,* V-2 (1964), p. 149-175 ; S. BENOIT et F. PICHON, *op. cit.,* p. 75-76 ; N. CHÉZEAU, *De la forge au laboratoire, Naissance de la métallurgie physique (1860-1914)*, Rennes, 2004, p. 14.
31. À l'exception de Bazin, qui reprend les conclusions de Réaumur, J. A. BAZIN, *Traité sur l'Acier d'Alsace ou l'art de convertir le fer de fonte en acier…,* Strasbourg, 1737.
32. R. ELUERD, *Les Mots du fer et des lumières*, Paris, 1993, p. 35.