

L'histoire des techniques avant la révolution industrielle

Autor(en): **Pelet, Paul-Louis**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Zeitschrift für Geschichte = Revue suisse d'histoire = Rivista storica svizzera**

Band (Jahr): **32 (1982)**

Heft 2

PDF erstellt am: **09.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-80883>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

MISZELLEN - MÉLANGES

L'HISTOIRE DES TECHNIQUES AVANT LA RÉVOLUTION INDUSTRIELLE

Par PAUL-LOUIS PELET

1. L'historien face au savoir-faire ancien

Formés dans une faculté des lettres ou des sciences économiques, la plupart des historiens se sentent mal à l'aise face aux problèmes qui relèvent de la mécanique ou de la chimie. Loin d'en nier l'importance pour les sociétés humaines, ils utilisent les inventions les plus déterminantes pour caractériser les grandes étapes de l'histoire: âge du bronze, âge du fer, ère atomique. Ils savent que la mise au point du gouvernail et de la boussole a conduit aux grandes découvertes maritimes, que l'arquebuse a mis fin aux raids dévastateurs des cavaliers nomades dans l'Europe de l'Est, que le chemin de fer a bouleversé les aires économiques.

Mais leur souci d'exactitude les retient d'écrire une histoire de ces inventions. Il est de fait que depuis la Révolution industrielle, la multiplicité croissante des techniques et leur liaison toujours plus étroite avec la science exige des connaissances que les facultés des lettres ou des sciences économiques n'enseignent pas. Aussi les historiens des techniques récentes sont-ils presque toujours des physiciens, des chimistes, des architectes ou des ingénieurs.

Pour la période antérieure à la Révolution industrielle au contraire, c'est un historien de formation qui est le mieux préparé à comprendre les textes archaïques. Il n'a guère besoin de dépasser le niveau de son baccalauréat ou d'un premier propédeutique en science pour aborder des processus qu'expliquent la mécanique de Newton ou la chimie de Lavoisier. Le dialogue avec des spécialistes ou leur collaboration peuvent remédier à ses ignorances.

Les obstacles qu'il rencontre sont dus essentiellement à l'amplification des difficultés traditionnelles de la quête des documents anciens, de leur déchiffrement, de leur analyse et de leur distribution chronologique.

1.1. Le mépris des élites

L'obstacle primordial est le mépris affiché pendant des siècles par les élites pour les objets utiles sans valeur esthétique, et pour toute préoccupation d'ordre matériel. Dans l'Antiquité, l'éloquence, le droit, la philosophie dominent la culture. Malgré un Aristote, un Théophraste ou un Pline, les sciences naturelles n'intéressent qu'une minorité parmi les philosophes ou les gens cultivés. Et cette minorité préfère les expériences surprenantes ou les machines curieuses d'un Héron d'Alexandrie ou d'un Philon de Byzance¹ à l'étude des processus techniques quoti-

¹ Le titre exact des ouvrages cités est donné dans l'appendice bibliographique.

diens. Face à la multiplicité des formes de fourneaux à fer, Pline lui-même se borne à noter: *Et fornacium magna differentia est*². Le savoir-faire des charpentiers navals, les tours-de-main des bronziers ou des forgerons, les procédés des céramistes découlent de la vulgaire expérience d'une main-d'œuvre servile.

Après la suppression de l'esclavage, les machines hydrauliques: norias, moulins, scies, etc.³ se répandent dans le monde romain. Mais la victoire du christianisme accentue le mépris apparent des avantages matériels. Saint Sabinien qui, vers 450, construit des moulins et des broyeurs pour ses frères du couvent de Saint-Oyend (Saint-Claude, Dp. Jura) paraît une exception⁴.

L'auteur de la *Vie de saint Romain* qui relate le fait, explique comment Sabinien rehausse le niveau de l'amenée d'eau par un réseau de branches entrelacées que l'on imperméabilise avec de la paille et des pierres. Il n'apporte aucun détail sur les machines, dont la mise au point semble avoir été difficile: un diable, nous dit-on, s'ingéniait à les dérégler ...

La technique médiévale intéresse les clercs dans la mesure où elle diminue leur peine et favorise l'exercice de la religion. Théophile, dans son *De diversis artibus* traite des couleurs et de leurs mélanges pour l'enluminure et la peinture; du verre et des outils nécessaires au montage des vitraux; des métaux, en songeant avant tout aux orgues, aux cymbales et aux cloches ...

Pour les usages profanes, le savoir-faire est au contraire l'apanage, – et dès qu'il se perfectionne, le secret – du potier, du teinturier ou du maître de forges. Il s'apprend à l'atelier, se transmet de père en fils. Pendant plus d'un millénaire, il est l'affaire des illettrés. En 1813 encore, le maître fondeur qui reconstruit le haut fourneau de Gänsbrunnen (Soleure), ne sait ni lire, ni écrire⁵.

1.1.1. La pauvreté des sources historiques traditionnelles

La classe des artisans et peu à peu des usiniers (parfois d'un rang social plus élevé) ne représente qu'une infime minorité de la population antique ou médiévale. Au Moyen Age, sur cent actes de ventes de biens immobiliers ou de cessions de serfs, on trouve à peine une à deux mentions de métiers.

L'énigme des allusions techniques. – Lorsqu'un document évoque une usine, il le fait en général pour une raison juridique. Il s'agit de justifier un droit seigneurial, de préciser un partage ou de réglementer l'utilisation d'un cours d'eau. L'allusion à un aspect technique est exceptionnelle et rarement probante. En 1223 par exemple, le Chapitre de la Cathédrale de Lausanne possède un moulin, don de Vuulelmus et Raimundus de Vuulflens. «Dederunt etiam nobis l'usement dal mulin et la mainteneci de l'ougina in pace.» Les chanoines disposent donc de l'usage du moulin et du droit de maintenir une augine (une conduite faite de troncs évidés). Il s'agit ou bien d'un moulin à roue verticale actionnée par le haut, ou d'un modèle prévitruvien à

2 «Il y a une grande variété de fourneaux.» PLINE l'Ancien, *Livre XXXIV*, ch. 14, § 41. – Pour une classification des fourneaux antiques, voir PELET, P.-L., 1977 et «Recherches sur la métallurgie du fer dans le Jura vaudois», Table Ronde, Toulouse 21-22 novembre 1980, à paraître.

3 Pour les moulins, voir SAGUI, C.-L. Pour la scie voir AUSONE, *Mosella*, vers 363; PELET, P.-L., 1978, p. 41; LUDWIG, KARL-HEINZ, 1980.

4 *Vie des pères du Jura*, «Vie de saint Romain», p. 301.

5 PELET, PAUL-LOUIS, 1969, p. 149.

roue horizontale, comme ceux que l'on trouve encore dans les hautes vallées du Valais⁶.

Les comptes d'exploitation, lorsqu'ils subsistent, ce qui est exceptionnel, sont eux-mêmes des mines de perplexité. Ils mentionnent des instruments, des éléments de machines, des procédés, mais sans les expliquer. Ils obligent à des recoupements délicats, et conduisent à des déductions souvent hypothétiques.

Un premier résultat: la répartition des usines. – Les sources traditionnelles de la recherche historique ne révèlent les techniques que bribe par bribe. Il faut dépouiller des milliers de parchemins pour en retirer quelques mentions suggestives, qui font découvrir:

- la répartition spatiale des entreprises, leur réseau de relations et de communications,
- les zones et les périodes d'expansion,
- les types d'usines (moulin, battoir, foulon, scie, forge, etc.).

Ainsi le *Domesday Book* britannique de 1086 enregistre dans les comtés côtiers un ou plusieurs moulins dans une localité sur trois; ils sont moins nombreux à l'intérieur du pays (Midland)⁷. Cette densité variable lie le peuplement et l'expansion de la roue hydraulique. C'est donc à une géographie historique des usines que l'on arrive d'abord.

Des précisions de détail. – A partir du XVe siècle, les archives suisses s'enrichissent de quelques contrats plus détaillés; au XVIe siècle, de comptes de construction et d'exploitation; au XVIIe siècle, d'inventaires⁸.

La description attentive ou le devis d'une machine sont probablement les types de documents les plus inhabituels dans les chancelleries jusqu'à la fin de l'Ancien Régime. Il faut s'estimer heureux lorsqu'on tombe sur un rapport comme celui du secrétaire baillival chargé d'inspecter le haut fourneau de la Jougnena (Vaud) en 1765, où l'on construit un groupe de trois pompes pour récupérer un tiers de l'eau qui actionne sa roue: «J'ay vu cette ingénieuse machine qui ne demandoit plus que quelques jours de travail pour être en état d'élever ses eaux à 44 pieds d'hauteur pour ensuite retomber sur la grande roue.»⁹ De telles descriptions restent ponctuelles; elles ne suffisent pas à faire ressortir l'ensemble des techniques en usage dans un lieu et en un temps donné.

1.1.2. L'objet et l'image à la rescousse

A ces déficiences des sources écrites, les découvertes archéologiques et le sauvetage des anciens outils et des machines apportent un remède très partiel. A part la céramique et les bijoux, la plupart des objets: de bois, de cuir ou de fer antérieurs à 1750 ont pourri, rouillé ou disparu. Les anciennes usines ont été rasées ou totale-

6 «Cartulaire du Chapitre de Notre-Dame de Lausanne, p. 324, No 360.

7 DARBY, H. C., vol. 1, 2, 3, 1971; 5, 1967.

8 Par exemple pour la construction du haut fourneau et les débuts de l'exploitation des forges de Charmoille et Bourrignon dans l'ancien Evêché de Bâle, en 1516/17 (voir STEINER, MICHEL, thèse en préparation). Pour l'analyse d'un inventaire détaillé, voir PELET, P.-L., 1971b.

9 Archives cantonales vaudoises K XII B 202, 1765, 30 août; PELET, P.-L., *Fer charbon acier dans le Pays de Vaud*, vol. 3, en préparation.

ment remaniées. Par exemple, l'installation du Musée romand du fer à Vallorbe, dans des forges qui remontent à 1495, n'a permis de retrouver aucun vestige architectural antérieur au XIXe siècle. Il ne reste rien des affineries, de l'aciérie, ni du haut fourneau démoli en 1705¹⁰.

Lorsque les données archéologiques font défaut, la comparaison ethnologique ou la recherche des survivances, qui passionne l'anthropologie culturelle, suggèrent l'ordre de grandeur des ateliers ou le degré d'efficacité des outils archaïques.

En l'absence d'objets, leur image peut nous renseigner. Quelques stèles antiques ou médiévales, les sculptures romanes et gothiques, les enluminures représentent parfois des scènes de la vie journalière. Václav Husa a recueilli un véritable florilège des métiers médiévaux dans les seules bibliothèques de Tchécoslovaquie. Mais, dans de telles représentations, le réalisme n'est pas partout la règle. Une statuette de la Fondation Abegg à Riggisberg (Berne) montre saint Eloi qui coupe le jarret du cheval auquel il doit remettre un fer¹¹. Seul un saint thaumaturge peut travailler de cette façon ...

Les machines, les outils sauvés, les images de la vie quotidienne (à quelques exceptions près) complètent et illustrent les allusions des documents écrits. Cependant l'addition de toutes les sources citées ne permet pas encore une histoire ordonnée des techniques.

1.2. Les traités, source d'une histoire générale des techniques

Une histoire générale des techniques se réfère avant tout aux traités rédigés de l'Antiquité à nos jours. Peu exploitées des historiens traditionnels, ces pièces rares sont restées longtemps enfouies dans les bibliothèques, délaissées par les érudits formés aux Belles-Lettres.

Si le *Codex Atlanticus* d'un Léonard de Vinci a été publié à l'aube de ce siècle du fait de la célébrité de son auteur, ce n'est que depuis les années soixante que l'on trouve sur le marché le *Bellifortis* de Konrad Kyeser, les traités de Francesco di Giorgio Martini et de Taccola, les *Machinae novae* de Fausto Veranzio, les *Maquinas hidraulicas* de Villareal de Berriz; et que le *De re metallica* d'Agricola paraît en édition de poche. La recherche des sources ne provoque plus les mêmes difficultés qu'à la fin du siècle dernier, où il fallait négocier l'accès aux réserves de chacune des grandes bibliothèques européennes.

Depuis sa fondation en 1948, la Bibliothèque du fer, à Schaffhouse, a rassemblé la plupart de ces ouvrages, souvent même dans leurs éditions successives. On peut les classer grosso modo en trois groupes:

1. les traités d'art militaire,
2. les recueils d'inventions diverses,
3. les manuels didactiques.

1. Les plus anciens, comme l'*Epitoma rei militaris* de Végèce ou l'*Anonymus de rebus bellicis* concernent les armes, et les machines du guerre: balistes, béliers, tortues ou chars armés de faux. Ils se perpétuent jusqu'à l'expansion des armes à feu qui change les préoccupations des ingénieurs. Dès 1540, Biringuccio explique la fonte des canons et Tartaglia pressent la balistique.

10 Musée ouvert en juin 1980. Sur les forges de La Ville, voir PELET, P.-L., 1978.

11 Statuette en buis, hauteur 77 cm; Suisse, 1520-1530.

2. D'autres recueils, qui reprennent partiellement les thèmes guerriers groupent avant tout des inventions, parfois saugrenues, qui vont des bateaux à roues et des scaphandres aux moulins les plus divers. Ces engins sont fréquemment imaginaires; mais ils résultent parfois d'intuitions remarquables, même si la technologie de leur époque ne permet pas de les réaliser, comme les «éoliennes» de Veranzio. Dès que ces découvertes sont applicables, il semble souvent préférable de les cacher. Michel Varro, secrétaire d'Etat puis syndic de Genève et maître des forges du Brassus (Vaud) présente dans *de Motu* (1584) une théorie de la mécanique (que Simon Stevin reprendra intégralement dans ses *Problematum geometricorum*). Il estime au contraire qu'il serait funeste de publier les déductions qu'il en a tirées sur les mouvements internes et externes des affaires publiques. Elles donneraient sans doute trop de puissance aux ambitieux. De même, son *Tractatus de variis machinis ad motus ciendos* pourrait être trop utile à ses concurrents¹².
3. La diffusion du savoir technique grâce au livre se pratique cependant dès l'Antiquité pour l'architecture, l'agronomie, l'arpentage, etc. Elle se multiplie après Gutenberg. Le *De re militari* de Valturio est imprimé à Vérone en 1472 déjà, le traité d'architecture d'Alberti en 1485 à Florence. Dès le XVI^e siècle, des manuels didactiques sont consacrés à l'exploitation des mines, aux arts du feu, à la construction des grues, des dragues et des pompes. Le *Bergbüchlein* d'Ulrich Rülein von Calw, la *Pirotechnia* de Biringuccio, les œuvres d'Agricola, du *Bermannus* (Bâle, 1530) au *De re metallica* (Bâle, 1556) illustrent cette série. Jusqu'à la fin de l'Ancien Régime, des maîtres de forges ou des inspecteurs de mines, des architectes tirent de leurs observations journalières des hypothèses scientifiques; nous pouvons penser à Réaumur, à Swedenborg, à Buffon. Des savants décrivent des métiers séculaires, comme Duhamel du Monceau dans son *Art du charbonnier*.

Les recherches de Leibniz, l'application de la géométrie euclidienne et de la mécanique aux constructions navales, le calcul de la poussée du vent dans les voiles des navires par des mathématiciens de l'envergure des Euler et des Bernoulli contribuent sous l'Ancien Régime déjà à donner à ces problèmes d'intérêt stratégique leurs lettres de noblesse.

Avec le développement des grandes Ecoles des ponts et chaussées, des Académies des mines de Freiberg ou de Schemnitz et le triomphe de la chimie lavoisienne, les traités atteignent un plus haut niveau de rigueur, de crédibilité.

Une analyse attentive des manuscrits conservés et des recueils imprimés donne le moyen de dégager les lignes générales et les grands tournants de l'histoire des techniques, de la chute de l'Empire romain jusqu'à l'aube de l'ère contemporaine. Il suffit par exemple de comparer les textes et les planches de Swedenborg (1734), de Courtivron et Bouchu (1761/62), de Hassenfratz (1812) et de Flachet, Barrault et Petiet (1846) pour saisir dans toute sa complexité l'évolution du haut fourneau. Les métallurgistes s'efforcent de réduire le minerai en éliminant les pertes, de diminuer parallèlement la consommation de combustible par une amélioration de la réfraction, d'éviter d'insuffler de l'air froid. La fusion au coke s'impose lentement.

1.2.1. L'effort accompli

Les histoires des techniques forment des motifs encore peu remarquables dans l'immense mosaïque des publications historiques, malgré la présence:

¹² Ed. Stoer, Genève, 1584, Préface.

- d'histoires mondiales, des origines à nos jours, telles l'*History of Technology* publiée sous la direction de Charles Singer, l'*Histoire générale des techniques* dirigée par Maurice Daumas ou la magistrale synthèse de l'Encyclopédie de la Pléiade présentée par Bertrand Gille et ses collaborateurs,
- de dictionnaires comme celui de Franz Maria Feldhaus,
- d'études limitées à une région, comme les quelque deux mille pages que Joseph Needham consacre à la mécanique, au génie civil et à l'architecture navale de la Chine, ou comme le volume qu'Ulrich Troitzsch, Gabriele Wohlauf et leurs collaborateurs consacrent à l'Allemagne,
- de monographies cantonnées dans une époque, comme les *Studies in ancient Technology* de Robert-James Forbes ou dans une seule industrie, comme les histoires du fer de Ludwig Beck (1891-1903) ou d'Otto Johannsen, qui vont de la découverte du métal jusqu'aux processus de fusion les plus récents, en passant par les fourneaux et les coutumes des autres continents.

A mesure que la recherche s'approfondit, l'historien réduit obligatoirement son champ d'action: à un pays, à une province, à un secteur industriel, à une plus courte période. Il s'impose souvent cette double limite spatiale et temporelle. Ce que fait déjà J. Morin-Jean avec *La verrerie en Gaule sous l'Empire romain* (1922/23).

2. Difficultés spécifiques à une histoire approfondie des techniques

L'historien qui tente d'approfondir un problème technique antérieur à la Révolution industrielle se heurte à une série de difficultés supplémentaires spécifiques.

2.1. Sens des termes techniques

Les auteurs anciens et les documents d'archives emploient, le plus souvent sans le définir, un vocabulaire dont le sens change d'une province à l'autre. De même, les descriptions qu'ils donnent, par exemple de la mine d'acier, de la tête vitrée, de la mine en greluches ou du fer spéculaire ne permettent pas toujours de reconnaître à quels minéraux de fer, à quelles formes cristallines, à quels carbonates ou à quels oxydes ils correspondent.

2.2. L'interprétation de concepts scientifiques périmés

Lorsqu'un traité de métallurgie attribue à la teneur en phlogistique la plus ou moins grande fusibilité d'un minerai, l'historien doit disposer d'analyses chimiques de ce minerai pour confirmer et expliquer plus correctement cette propriété.

2.3. La chronologie, une boussole affolée

Mais la difficulté la plus déroutante est l'impossibilité de tirer parti d'un classement chronologique. Face aux techniques, il perd toute fiabilité. Comment fixer la date d'une invention autrement que par celle du premier document qui la mentionne

ou du plus ancien objet qui en résulte? L'engin ou l'objet existent peut-être depuis de longues décennies sans avoir attiré l'attention d'un lettré, si ce n'est des chercheurs eux-mêmes. Les médiévistes signalent l'apparition des scies hydrauliques en Europe au XIII^e siècle, parce qu'ils oublient de contrôler la crédibilité de la *Moselle* d'Ausone, qui, huit siècles plus tôt, évoque leurs grincements sur les rives de la Ruwer (voir n. 3).

Avant l'ère industrielle (et même au-delà), les praticiens gardent secrets les procédés, les mécanismes qui leur valent un avantage précieux sur leurs concurrents. C'est l'espionnage industriel qui les transmet, mais avec quel retard? et qui accélère alors la généralisation du progrès technique.

Certaines découvertes se font simultanément, tandis que d'autres se répètent à plusieurs siècles de distance dans des pays si éloignés qu'aucune influence n'est possible. Ce ne sont pas les Vikings qui ont enseigné aux Tibétains l'art de construire des roues à eau horizontales¹³. Enfin bien avant le héros des *Histoires enfantines* de Peter Bichsel¹⁴, les savants réinventent par ignorance ou par jalousie des machines déjà conçues ou déjà existantes. Par exemple, la turbine à eau est esquissée par Francesco di Giorgio Martini au milieu du XV^e siècle, reprise par Léonard de Vinci puis «calculée» au milieu du siècle suivant par le mathématicien Jacques Besson. Mais elle ne sera mise au point que lorsqu'on saura construire des conduites, des pales et des cuves en métal.

Faut-il dater l'invention du moment où elle est conçue, de celui où elle est réalisée, ou de la génération qui en répand l'usage? Dans les deux premiers cas, la date est douteuse, dans le dernier, elle reste floue.

2.3.1. La technologie ne donne pas la datation

En l'absence de donnée chronologique, l'historien est tenté de créer une datation interne, comme il le fait en archéologie avec les niveaux stratigraphiques. Le degré de complexité, de développement d'un outil ou d'une machine peut-il jouer ce rôle? Une mise en garde s'impose immédiatement: La bicyclette se répand en Europe trois quarts de siècle après la locomotive ... De plus, l'évolution technologique ne s'accomplit pas au même rythme d'une province, d'un village ou d'une usine à l'autre. Une diachronie fondée sur le degré de complexité peut jouer lors de recherches sur un ensemble homogène, strictement délimité. L'amélioration de la réfraction des fourneaux à fer est un indice valable pour un seul champ de fouilles à la fois, nous l'avons constaté aux Bellaires¹⁵. Le même degré de perfectionnement ne signifie pas la même date dans deux sites distants, ne serait-ce que de trois kilomètres. Les artisans de l'un des sites perpétuent peut-être un modèle dépassé ou au contraire devancent leurs concurrents. Dès que l'on englobe un plus grand espace, se mêlent, nous allons le voir, l'archaïsme et l'innovation.

13 Sur l'attribution de l'invention des moulins à roue horizontale aux populations bordant la mer du Nord, voir CURWEN, E. C., 1944 et SMITH, NORMAN A. F., 1977.

14 BICHSEL, PETER, 1978, p. 63. «Pourtant il resta sa vie durant un véritable inventeur, car les choses qui existent déjà sont tout aussi difficiles à inventer que les autres. Et il n'y a que les inventeurs qui en soient capables.»

15 PELET, PAUL-LOUIS, 1973, p. 203-209.

2.4. Technique de pointe et méthodes traditionnelles

2.4.1. L'exception prise pour la norme

La présentation des grandes lignes de l'histoire des techniques met tout naturellement l'accent sur le progrès, en laissant de côté les époques, les pays ou les classes sociales qui ignorent ou refusent la nouveauté et s'en tiennent aux procédés traditionnels. Suivre la pointe du progrès, c'est cataloguer l'exceptionnel, le cas-limite à côté de tous les modèles moins perfectionnés qui forment la grande masse des engins en service.

2.4.2. Lenteur de la diffusion

En effet, la diffusion d'une invention peut être très lente, freinée par l'indifférence, la crainte du nouveau, l'incapacité financière, – ou la volonté de l'inventeur de garder le secret. Il faut un millénaire pour que la réduction du minerai de fer, connue vers 1500 av. J.-C. en Anatolie atteigne les Iles Britanniques; trois cents ans pour que la fabrication du fer blanc, mise au point à Nuremberg au XIV^e siècle passe dans la France de Mazarin¹⁶.

2.4.3. Survie des techniques

D'autre part, les techniques acquises ne perdent pour ainsi dire jamais toute raison d'exister. La ventilation naturelle des fourneaux à fer primitifs, remplacée au début de l'ère chrétienne par le soufflet à volants dans le monde romain subsiste encore à Coni, Côte-d'Ivoire, en 1981¹⁷. Pour un relevé modeste, le géomètre n'abandonne pas le théodolite pour la stéréophotogrammétrie, et l'archéologue se contente souvent d'une alidade.

L'adaptation aux besoins. – De plus le désir, ou plus exactement la nécessité d'accroître la production et de la faciliter ne se manifeste pas dans n'importe quel milieu. Il ne sert à rien de construire une minoterie susceptible de ravitailler 10 000 personnes dans un village où vivent 20 familles. De nombreuses communes des hautes vallées valaisannes ont conservé jusqu'au XX^e siècle des moulins plus primitifs que ceux que Vitruve décrit dans son *De Architectura*, au premier siècle avant notre ère. Une roue horizontale grossièrement ajustée sur un axe de bois ou de fer actionne la meule courante (diamètre 110–130 cm) sans le moindre engrenage. Un montagnard expert indique où trouver la pierre meulière. Il n'est pas nécessaire d'embaucher un meunier: chaque utilisateur assure l'entretien et exécute les réparations. Le faible débit: une cinquantaine de kilos de farine par nuit à Chandolin, deux cent cinquante kilos par jour et par moulin à Sembrancher est adapté à la demande, aux besoins des villageois. C'est la construction d'une route carrossable et l'abandon des champs de seigle et de fèves qui font disparaître, après 1965, les moulins de Chandolin. Ceux de Liddes (3 moulins) et de Sembrancher (4 moulins) sub-

16 GILLE, BERTRAND, 1960, 1/2, p. 7–31.

17 Un fourneau à fer à ventilation naturelle est filmé dans la région de Coni en Côte-d'Ivoire, chez les Senoufo, par M. BERMUDEZ. Emission de télévision de la Suisse romande (La course autour du Monde), du 18 février 1981.

sistent en 1978¹⁸, malgré la proximité du grand axe routier du Grand-Saint-Bernard. Ils étaient il y a quatre ans, ils sont peut-être encore une technique suisse du troisième quart du XXe siècle.

Intérêt scientifique des survivances. – Ces survivances, les anthropologues, les enquêteurs des traditions populaires les relèvent. Les historiens les ignorent en général. Leur rôle économique est d'ailleurs minime; mais leur importance scientifique considérable. Elles distinguent époque par époque les zones dont les conditions économique-sociales se perpétuent de celles que touche la nouveauté.

L'archaïque et le moderne se côtoient constamment. – La présence simultanée dans un rayon de 30 km, de minoteries modernes et de moulins prévitruviens nous surprend, tandis que nous oublions les archaïsmes qui baignent notre vie journalière. Nous réparons nos voitures avec des maillets, des marteaux, des pinces, des alésoirs qui n'ont pas changé de forme depuis l'Antiquité; avec des clés et des tournevis, outils de pointe du XVIe siècle.

2.5. Une étude génétique

Pour la période antérieure à la Révolution industrielle, l'historien doit renier son cadre traditionnel de référence. S'il entend acquérir une vue cohérente de la succession des techniques, il classe les découvertes non plus dans leur douteuse suite chronologique, mais de la plus fruste à la plus raffinée, même si elles se dispersent dans le temps et dans l'espace, en tenant compte du fait que ce raffinement ne se manifeste pas nécessairement par une plus grande complexité. Il peut être simplificateur: une seule rotule par exemple remplace trois axes pivotants¹⁹. Un raisonnement génétique, hors du temps, précise et restreint quelque peu ce que Jacques Lafitte considérait comme l'étape suprême de sa mécanologie²⁰. Il clarifie la période antérieure à

18 PELET, PAUL-LOUIS, 1981, p. 51-52.

19 Faute de pouvoir exécuter des rotules, les fabricants de Vallorbe forgeaient à l'extrémité des chaînes pour les vaches, un «tournet» qui assurait une triple rotation et empêchait la chaîne de se tordre et de se rompre. Voir PELET, P.-L., 1973, page de couverture.

20 Ingénieur et architecte de formation, JACQUES LAFITTE publie en 1932 ses «Réflexions sur la science des machines» dans le 21e numéro des *Cahiers de la nouvelle journée* qu'édite à Paris la librairie Bloud et Gay (p. 1-122). Cette réflexion très générale ne s'accompagne d'aucun schéma, d'aucun croquis. Mais elle se fonde aussi bien sur l'expérience personnelle de l'auteur que sur la lecture des meilleurs ouvrages alors disponibles. Ignorée des historiens français des techniques, elle m'a été signalée par le professeur L. von Mackensen (Kassel).

Jacques Lafitte étudie la machine *en soi* et non les mécanismes, comme l'avait fait Franz Reuleaux dans sa *Cinématique*. Lafitte donne de la machine une définition extensive. Elle n'est pas seulement un transformateur de mouvement, de force ou d'énergie, mais *tout corps construit par l'homme*, – c'est à dire ce que la langue populaire appelle un machin! D'où, pour Lafitte, trois classes de machines: 1. passives (le poteau, le flotteur, la cabane), 2. actives (le rabot, la machine à coudre, l'automobile), 3. réflexives (le piège à trappe, la torpille automotrice, les machines à régulation automatique).

La mécanologie est la science des machines. Elle se fonde:

1. Sur l'art: 1.1. de concevoir; 1.2. de construire; 1.3. de faire fonctionner une machine.
2. Sur une *mécanographie* descriptive, elle aussi à trois niveaux: 2.1. historique; 2.2. descriptif; 2.3. classificateur.

la Révolution industrielle, où la lenteur du progrès technique et l'irrégularité de sa diffusion faussent au maximum les références chronologiques. Il donne aux historiens formés dans les facultés de sciences humaines la vue d'ensemble qui leur manque. Il distingue des degrés de développement de machine à machine, de processus à processus; il repère des influences, des similitudes ou des mutations; il note les survivances ou les transferts de technologie: les conversions à des procédés nouveaux ne conduisent pas au rejet total du savoir-faire antérieur. Ainsi, quand les fourneaux à fer du pied du Jura vaudois adoptent une soufflerie artificielle, ils gardent l'architecture des modèles précédents. La puissance de la ventilation incite à en diminuer progressivement la hauteur. Les constructeurs transmettent de génération en génération les tours de mains ancestraux²¹.

L'impact des connaissances scientifiques ne joue un rôle important, au point de transformer l'approche de l'histoire des techniques, qu'à partir du XIXe siècle²².

3. Vers une histoire humaine des techniques

L'étape de clarification que représente la conception d'une évolution génétique a écarté provisoirement le temps et négligé l'homme. Pourtant l'histoire des techniques est étroitement liée à l'économique, au social, au militaire, au politique ou au culturel. Guidée par l'approche génétique, elle ne dédaignera plus les zones de refus; elle notera la durée des survivances aussi bien que l'apparition de la nouveauté. Elle se détournera d'une optique trop étroitement économique. Elle constatera la rationalité, la rentabilité de méthodes considérées comme désuètes, lorsqu'on les replace dans leur cadre géologique, géobotanique ou simplement social.

Ainsi le haut fourneau qui domine la sidérurgie de l'Europe du nord et du centre dès le XVIe siècle ne se répand pas sur les côtes de la Méditerranée avant le milieu du

3. La mécanologie proprement dite analyse:

3.1. Les différences observables: 3.1.1. entre les formes; 3.1.2. entre les structures; 3.1.3. entre les fonctionnements; 3.1.4. entre les organisations générales.

3.2. Elle aboutit à l'explication de la genèse de chaque type.

Alors que les points 1, 2.2. et 2.3. représentent une évidence, Lafitte ne soupçonne pas les difficultés du point 2.1., l'historique. Il croit simplement à la complexité croissante des machines au cours du temps. Il oublie ou néglige les perfectionnements par simplification et le décalage des niveaux techniques dans l'espace, à un temps donné. Face à la classification, il pressent la nécessité d'une théorie qui ne fixe plus des limites entre les classes, mais reconnaisse des *noyaux* caractéristiques (voir Nicolas-Obadia, Georges, 1977).

Le point 3.2., la genèse (la naissance) de chaque machine se fonde aussi bien sur l'incertain 2.1. que sur les analyses de 3.1. Il semble plus intéressant de porter l'accent sur l'évolution génétique, c'est-à-dire sur le *passage* d'une machine à l'autre, (en faisant d'abord abstraction du temps et de l'espace) en fonction d'un critère déterminé: le degré de complexité (Pelet, Paul-Louis, 1978) ou l'amélioration de la réfraction (Pelet, Paul-Louis, 1973, 1977). – La réflexion sur les techniques s'appuie maintenant sur les tendances philosophiques dominantes. Voir par exemple GÜNTER ROPOHL, *Eine Systemtheorie der Technik. Zur Grundlegung der Allgemeinen Technologie* (1979).

21 PELET, PAUL-LOUIS, 1977.

22 Les technologies postérieures à la Révolution industrielle exigent chacune une approche scientifique spécifique, même s'il faut y joindre l'esprit de finesse des analyses historiques. L'historien des mines ne sera pas celui du radar. Cette division des compétences, déjà marquée pour le XIXe siècle, devient indispensable pour l'étude du XXe siècle.

XIXe siècle. On y préfère les fours catalans (producteurs directs de fer) qui gaspillent le minerai (abondant) mais épargnent la forêt (pauvre).

Le niveau technique qui s'adapte aux conditions économiques et sociales n'est pas le même d'un terroir à l'autre. Etablir une hiérarchie de l'efficacité donne une échelle trompeuse des civilisations. Il faut y joindre l'adéquation aux besoins des sociétés étudiées.

Les grands traités généraux n'ont guère eu le loisir d'aborder ces problèmes. Leur fil conducteur: le développement du savoir-faire, le progrès scientifique ne donne qu'un aspect de la réalité: un peu comme la mécanique classique qui présentait les mouvements dans le vide et sans frottement. Bertrand Gille l'a bien compris, qui tente de reconstituer moins la course au progrès que la succession des «systèmes techniques», qui de l'Antiquité au Moyen Age, de la Renaissance au XIXe siècle ou à nos jours englobent simultanément l'innovation et la tradition, le renouvelé et l'immobile.

4. Technique et civilisation

Le développement des techniques soustrait peu à peu l'homme aux effets des forces les plus brutales de la nature: cataclysmes, épidémies, famines; il lui procure une aisance plus large, une certaine sécurité; et par là le loisir de se civiliser. Contrairement à une opinion encore couramment admise²³, l'efficacité technique n'est pas en soi un indice de civilisation. Elle se transforme aussi bien en instrument de bien-être que de barbarie. Elle assure l'hégémonie économique ou militaire, qui ne prouvent ni une perspicacité, ni une moralité supérieures. Elle ne diminue en rien, au contraire, l'atrocité des conflits armés.

Partis à la découverte et à la conquête de la planète, les Européens ont cru, du XVIIe siècle à 1940 à la prééminence absolue de leur apport: théologique, philosophique, juridique, moral, artistique, scientifique, alors qu'ils disposaient en fait d'une avance nette en sciences juridiques, en mathématique, en technique et en armement. Leur intervention a cependant transformé, modelé (en mal autant qu'en bien) l'ensemble des continents. D'autres puissances, dont l'hégémonie repose principalement sur une avance technique ou une implantation militaire les ont supplantés, sans apporter plus qu'eux la seule vraie civilisation, celle qui se fonde sur le respect de l'être humain.

23 LALANDE, ANDRÉ, *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, 11e éd., Paris, 1972, art. «Technique, A3».

Bibliographie

- AGRICOLA, GEORGIUS, *Bermannus, sive de re metallica dialogus*, Bâle, 1530; 1558.
AGRICOLA, GEORGIUS, *De re metallica libri XII*, Bâle, 1556; 1561, etc.
AGRICOLA, GEORG, *Vom Berg- und Hüttenwesen*, Munich, 1977, 1 vol. in-8. (dtv-Bibliothek).
ALBERTI, LEONE BATTISTA, *De re aedificatoria*, Florence, 1485.
ANGENOUST, M. D', *Addition à l'art du charbonnier*, dans DUHAMEL DU MONCEAU, *Art du charbonnier*, 2e éd. Paris, 1770.
ANONYMUS, *De rebus bellicis*, voir THOMPSON, E. A.
AUSONE, D. M. AUSONII, *Mosella – La moselle d'Ausone*, éd. critique et trad. fr. par H. de la Ville de Mirmont, Bordeaux, 1889; éd. Ch.-M. Ternes, Paris, 1972.

- BECK, LUDWIG, *Die Geschichte des Eisens in technischer und kulturgeschichtlicher Beziehung*, Braunschweig, 1891 (1er vol., 2e éd.)–1903, 5 vol.
- BERNOULLI, JEAN, *Essay d'une nouvelle théorie de la manœuvre des vaisseaux*, Bâle, 1714.
- BESSON, JACQUES, *Théâtre des instruments mathématiques et mécaniques*, Lyon, 1569; 1578. Trad. latine, Genève, 1582.
- BICHSEL, PETER, *Histoires enfantines*, trad. fr., Paris, 1978.
- BIRINGUCCIO, VANOCIO, *De la pirotechnia libri X*, Venise, 1540.
- BUFFON, GEORGES-LOUIS LECLERC, comte de, *Introduction aux Minéraux, Epoque de la Nature*, Œuvres complètes, tome 9, Paris, 1853 (1re éd., 1783).
- «Cartulaire du Chapitre de Notre-Dame de Lausanne», CHARLES ROTH éd., *Mémoires et Documents de la Société d'histoire de la Suisse Romande*, 3e série, vol. 3, Lausanne, 1948.
- COSTABEL, PIERRE, *Leibniz et la dynamique – Les textes de 1692*. Paris, 1960.
- COURTIVRON (Gaspard Le Compasseur de Créqui-Montfort, marquis de) et BOUCHU, ETIENNE-JEAN, *Art des forges et fourneaux à fer*, Paris, 1761/62.
- CURWEN, E. C., «The Problem of Early Water Mills», *Antiquity*, 71, 1944, septembre, p. 139–140.
- Domesday Book*, voir DARBY, H. C.
- DARBY, H. C., *The Domesday Geography of England*, vol. 1, *Eastern England*, Cambridge, 1971.
- DARBY, H. C. et coll., *The Domesday Geography of England*, vol. 2–5, Cambridge, 1967–1971.
- DUHAMEL DU MONCEAU, HENRI, *Art du charbonnier ou manière de faire le charbon de bois*, Paris, 1761 (Description des Arts et Métiers).
- EULER, LÉONARD, *Scientia navalis*, St-Petersbourg, 1749, 2 vol.
- FEBVRE, LUCIEN, «Pour l'Histoire des sciences et des techniques», *Annales d'Histoire économique et sociale*, 1935, novembre.
- FELDHAUS, F(RANZ) M(ARIA), *Die Technik – Ein Lexikon der Vorzeit, der geschichtlichen Zeit und der Naturvölker*, 1re éd. 1914, réimpr. Wiesbaden, 1970.
- FLACHAT, E., BARRAULT, A., et PETIET, J., *Traité de la fabrication du fer et de la fonte envisagée sous les rapports chimique, mécanique et commercial*, Paris, 1842–1846.
- FORBES, R(OBERT) J(AMES), *Studies in ancient technology*, 1955–1964, 9 vol.
- GILLE, BERTRAND, «Colbert et l'introduction de la fabrication du fer blanc en France», *Revue d'histoire de la sidérurgie*, I, fasc. 2, 1960, p. 7–31.
- GILLE, BERTRAND, *Les ingénieurs de la Renaissance*, Paris, 1964.
- GILLE, BERTRAND, *Les mécaniciens grecs – La naissance de la technologie*, Paris, 1980.
- GILLE, BERTRAND, voir *Histoire des techniques*.
- HASSENFRATZ, J(ean)-HENRI, *La Sidérotechnie, ou l'art de traiter les minerais de fer pour en obtenir de la fonte, du fer ou de l'acier*, Paris, 1812, 4 vol.
- Histoire des techniques – Technique et civilisations, Technique et science*, publ. sous la dir. de BERTRAND GILLE, Paris, 1978 (Encyclopédie de la Pléiade).
- A History of Technology*, ed. by CHARLES SINGER, E. Y. HOLMYARD, A. R. HALL, TREVOR I. WILLIAMS, Oxford, 1954–1958.
- HÉRON D'ALEXANDRIE, *Opera omnia*, Leipzig, 1899–1914, 5 vol.
- JOHANNSEN, OTTO, *Geschichte des Eisens*, 3e éd., Düsseldorf, 1953.
- KLEMM, FRIEDRICH, *Zur Kulturgeschichte der Technik. Aufsätze und Vorträge, 1954–1978*. Munich, 1979 (Kulturgeschichte der Naturwissenschaften und der Technik, Bd. 1).
- KYESER, KONRAD, *Bellifortis*, G. QUARD, éd., Düsseldorf, 1967.
- LAFITTE, JACQUES, *Réflexions sur la science des machines*. Paris, 1932.
- LALANDE, ANDRÉ, *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, 11e éd., Paris, 1972.
- LEIBNIZ, GOTTFRIED WILHELM VON, *Mathematische Schriften*, éd. Gerhardt, 1849–1863, 7 vol. Voir aussi COSTABEL, PIERRE.
- LEONARDO DA VINCI, *Il codice Atlantico di Leonardo da Vinci nella Biblioteca Ambrosiana di Milano*, Milan, 1894–1904, 6 vol.
- LEONARDO DA VINCI, *I Libri di meccanica nella ricostruzione ordinata di Arturo Uccelli, preceduti da un'introduzione critica e da un esame delle fonti ...*, Milan, 1940.
- LUDWIG, KARL-HEINZ, «Die technikgeschichtlichen Zweifel an der 'Mosella' Ausonius sind unbegründet», *Technikgeschichte, Verein Deutscher Ingenieure*, vol. 48 (1981), No 2, p. 131–134.

- MARIANO DI JACOPO DA SIENA, IL TACCOLA, *De machinis, Libri X* (1449), Wiesbaden, L. Reichert, 1971.
- MARTINI, FRANCESCO DI GIORGIO, *Trattati*, G. Maltese éd., Milan, 1967.
- MORIN-JEAN, (J.), *La Verrerie en Gaule sous l'empire romain, Essai de morphologie et de chronologie*, Paris, 1922/23.
- NEEDHAM, JOSEPH, *Science and Civilisation in China*, Vol. 4, *Physics and Physical Technology*, Part 1: *Physics*; Part 2: *Mechanical Engineering*; Part 3: *Civil Engineering and Nautics*, Cambridge, 1962-1971.
- NICOLAS-OBADIA, GEORGES, «La théorie des noyaux régionaux agricoles», *L'espace géographique*, 1, 1977, p. 25-39.
- PELET, PAUL-LOUIS, «Documents inédits sur le premier haut fourneau de Klus (Soleure)», *Revue d'histoire des mines et de la métallurgie*, T. 1, No 2, 1969, p. 129-150.
- PELET, PAUL-LOUIS, *Sidérurgie frontalière Bon Port, 1623 - Pontarlier, 1820, Deux essais sur des forges du Jura*. Publications de l'Ecole des sciences sociales et politiques, 6, Genève, Droz, 1971 (1971b).
- PELET, PAUL-LOUIS, avec la collab. de BARBARA DE CARVALHO et de PIERRE DECOLLOGNY, *Fer charbon acier dans le Pays de Vaud - Les sources archéologiques*, Lausanne, 1973.
- PELET, PAUL-LOUIS, «L'architecture des fourneaux à fer primitifs, évolutions autonomes et tendances générales», *Archaeologische Eisenforschung in Europa, Symposion Eisenstadt, 1975* (Wissenschaftliche Arbeiten aus dem Burgenland, Heft 59, Eisenstadt, 1977).
- PELET, PAUL-LOUIS, *Fer charbon acier dans le Pays de Vaud - La lente victoire du haut fourneau*, Lausanne, 1978.
- PELET, PAUL-LOUIS, «Moulins 'prévitruviens' valaisans - Note préliminaire». Tiré à part de *Folklore suisse*, 4/5, 1981, p. 41-67, IRRI, Lausanne, 1981.
- PELET, PAUL-LOUIS, «Recherches sur la métallurgie du fer dans le Jura vaudois», Table Ronde, Toulouse, 21-22 novembre 1980, à paraître.
- PELET, PAUL-LOUIS, *Fer charbon acier dans le Pays de Vaud - Du mineur à l'horloger*, à paraître.
- PHILON DE BYZANCE, *Pneumatica - The First Treatise on Experimental Physics: Western Version and Eastern Version, Facsimile and Transcript of the Latin Manuscript ...*, by L. D. PRAGER, Wiesbaden, 1974.
- PLINE l'Ancien, PLINIUS SECUNDI *Historia naturalis*, Livre XXXIV, éd. Detlevsen, vol. 5, Berlin, 1878; Livre 34, Paris, Les Belles-Lettres, 1953.
- RÉAUMUR, RENÉ ANTOINE FERCHAULT DE, *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.
- REULEAUX, FRANZ, *La Cinématique. Principes fondamentaux d'une théorie générale des machines*. Trad. fr., Paris, 1877.
- ROPHL, GÜNTER, *Eine Systemtheorie der Technik. Zur Grundlegung der Allgemeinen Technologie*, Munich et Vienne, 1979.
- RÜLEIN VON CALW, ULRICH, *Eyn nutzlich bergbuchleyn ...*, s. 1., s. d. (vers 1500); 2e éd., Augsburg, 1505. Facsimile dans PIEPER, WILHELM, *Ulrich Rülein von Calw und sein Bergbüchlein*, Berlin, 1955 (Freiberger Forschungshefte, D 7), p. 65-112.
- SAGUI, C. L., «La meunerie de Barbegal (France) et les roues hydrauliques chez les anciens et au Moyen Age», *Isis*, 38, III, p. 225-231.
- SMITH, NORMAN A. F., «The Water Turbine and the Invention of its Name», *History of Technology, Second annual Volume*, 1977, Londres, 1977, p. 215-260.
- STEINER, MICHEL, Thèse en préparation sur l'histoire de la sidérurgie dans l'ancien Evêché de Bâle.
- STEVIN, SIMON (1548-1620), *Problematum geometricorum*, Anvers, apud Joannem Bellerum, s.d.
- SWEDENBORG, EMMANUEL, *De ferro* (1734), trad. fr. par ETIENNE-JEAN BOUCHU, dans Courtivron (G. de) et Bouchu, E. J., 1762, 4e section.
- TACCOLA, MARIANO DI JACOPO DA SIENA, IL, *De machinis, Libri X*, (1449), Wiesbaden, L. Reichert, 1971.
- TARTAGLIA, NICOLA, *Nova scientia*, Venise, 1537.
- TARTAGLIA, NICOLA, *Questi ed inventioni diverse*, Venise, 1546.
- TARTAGLIA, NICOLA, *La Balistique*, Paris, 1845, 2 vol.

- THEOPHILUS (RUGERUS), *The Various Arts. De Diversis artibus transl. from the Latin with introd. and notes* by C(HARLES) R(EGINALD) DODWELL, Londres (1961).
- THOMPSON, E. A., *A Roman Reformer and Inventor*, Oxford, 1952.
- VALTURIO, ROBERTO, *De re militari*, Vérone, 1472.
- VARRO, MICHEL, M. VARRONIS I. C. et COS.ORD., *De Motu Tractatus*, Genève, Jacob Stoer, 1584.
- VÉGÈCE, VEGETIUS RENATUS, FLAVIUS, *Epitoma rei militaris*, Carolus Land ed., Stuttgart 1967 (reprod. photoméc. de l'éd. de 1885).
- VERANZIO, FAUSTO, *Machinae novae*, éd. fac-similé Munich, 1965. 1re éd., Venise, 1615/16.
- Vie des Pères du Jura (Vita Patrum Jurensium)*, éd. par FRANÇOIS MARTINE, Paris, 1968.
- VILLAREAL DE BERRIZ, *Maquinas hidraulicas de molinos y herrerias y gobierno de los arboles y montes de Vizcaya*, Madrid, 1736, éd. fac-similé, Madrid, 1973.
- VINCI, LÉONARD DE, voir sous LÉONARD.
- VITRUVÉ, VITRUVIUS *De architectura, libri decem*, - *Vitruv, Zehn Bücher über Architektur*, Curt Fensterbusch ed., Berlin, 1964.
- WHITE, LYNN JR., *Medieval Technology and Social Change*, Oxford, 1965.