

L'aqueduc souterrain des Raschpëtzer, un monument antique de l'art de l'ingénieur au Luxembourg.

Die unterirdische Wasserleitung der Raschpëtzer, ein Monument antiker Ingenieurbaukunst aus Luxemburg.

Pierre Kayser professeur-ingénieur
Guy Waringo professeur-ingénieur
à l'Institut Supérieur de Technologie à Luxembourg



Fig. 1 : Tunnel de jonction entre les puits 4 et 5

Abb. 1 : Tunnelverbindung zwischen Pëtz 4 und Pëtz 5

Quand on étudie l'Antiquité et qu'il est question d'archéologie, on pense surtout à l'étude et à l'analyse de vestiges, d'œuvres d'art antiques, telles que fresques, mosaïques, statues, etc., peut-être encore à l'étude de constructions architectoniques comme les villas, les temples. On accorde en général moins d'importance aux véritables prouesses techniques réalisées par les ingénieurs de cette époque. Peut-être est-ce dû au fait que l'étude et la compréhension de ce type de réalisations sont moins accessibles au grand public, peut-être aussi au fait que la formation, mais aussi les préoccupations et les intérêts des archéologues et historiens sont rarement d'ordre technique.

Wenn die Rede von Altertumsforschung und Archäologie ist, so versteht man darunter meistens die Deutung und Analyse von Überresten antiker Kunstwerke wie Fresken, Mosaiken, Statuen, respektiv die Deutung der Überreste von architektonischen Bauwerken, wie Villen, Tempel oder ähnliches. Ingenieurtechnische Leistungen der Antike werden leider eher selten beachtet, möglicherweise weil deren Deutung und Verständnis der breiten Öffentlichkeit schwerer zugänglich ist, möglicherweise auch weil die Ausbildung und Interessen von Historikern und Archäologen selten technikorientiert sind.

Outre les constructions routières, ce sont les constructions hydrauliques, avant tout celles servant à l'alimentation en eau potable, avec un ensemble d'ouvrages techniques et un système très élaboré de conduites d'eau, qui comptent parmi les plus remarquables exploits techniques des ingénieurs de l'époque romaine.

À ce niveau, il est bien connu que pour traverser les vallées, d'imposants ponts, appelés aqueducs, ont été érigés et la beauté et l'ingéniosité de ces ouvrages sont en général rarement contestées. On ignore cependant souvent, que lors de la pose d'une conduite d'eau, le franchissement d'obstacles naturels formés par des collines a nécessité parfois la construction de tunnels non moins imposants et délicats à concevoir et à réaliser.

Avec le site des Raschpëtzer, à proximité de Walferdange, le Luxembourg dispose de l'un des aqueducs souterrains d'origine romaine les plus imposants et les mieux conservés parmi ceux situés au nord des Alpes. Il s'agit en fait d'une conduite d'alimentation en eau potable, construite d'après le principe du qanat. Le captage de l'eau et l'alimentation de la galerie se trouve à 20 mètres sous la surface de la dépression du Haedchen et fonctionne toujours de façon à ce que l'eau coule de nos jours encore et ce au moins dans les parties supérieures et moyennes de l'installation.

Le principe du qanat consiste à creuser, à intervalles réguliers et jusqu'au même niveau de profondeur des puits verticaux, puis à relier le fond desdits puits par une galerie horizontale forée lors d'une deuxième étape. L'ensemble de la trace est ainsi subdivisé en une multitude de lots de construction distincts. D'une part, ceci permet de contrôler l'implantation géodésique de la trace souterraine et de minimiser les effets des erreurs d'orientation liées aux mesurages topographiques, d'autre part, la durée totale de construction du tunnel s'en trouve réduite, car les travaux peuvent progresser simultanément à plusieurs endroits différents.

Zu den wirklich beachtenswerten technischen Leistungen antiker Ingenieure, vor allem aus der Römerzeit, gehören neben dem Strassenbau in erster Linie der Wasserbau und insbesondere die Wasserversorgung mit allen technischen Bauwerken und Raffinessen des Leitungsbaus.

Es ist allgemein bekannt, dass zur Überwindung von Tälern imposante Brückenbauten, sogenannte Aquädukte gebaut wurden, dass zur Überwindung von bergigen Hindernissen beim Leitungsbau mindestens genau so imposante und anspruchsvolle Tunnelbauten notwendig waren, ist wesentlich weniger bekannt und auch beachtet.

Mit den Raschpëtzer bei Walferdingen verfügt Luxemburg über eines der imposantesten und bestens erhaltenen Tunnelbauwerken römischen Ursprunges nördlich der Alpen. Es handelt sich dabei um eine Wasserversorgungsleitung in Qanatbauweise. Die Wasserfassung und die Einspeisung in die Leitung befindet sich auf 20 Metern unter der Oberfläche der Haedchensenke und funktioniert als solches bis zum heutigen Tage, und dies zumindest im oberen und mittleren Bereich der Anlage wo das Wasser immer noch fliesst.

Das Qanatverfahren, auch Lichtlochverfahren genannt, besteht darin, senkrechte Schächte in regelmässigen Abständen bis zum gleichen Niveau abzuteufen und diese dann in einer zweiten Etappe unterirdisch mit einem horizontalen Stollen zu verbinden. Die gesamte Trasse wird somit in eine Vielzahl von einzelnen Baulosen aufgeteilt. So wird einerseits das Risiko, respektiv die Auswirkungen von vermessungstechnischen Orientierungsfehlern beim unterirdischen Vortrieb gemindert, andererseits wird durch die Möglichkeit des gleichzeitigen Vortriebs an vielen Stellen die Gesamtbauzeit des Tunnels erheblich verkürzt.

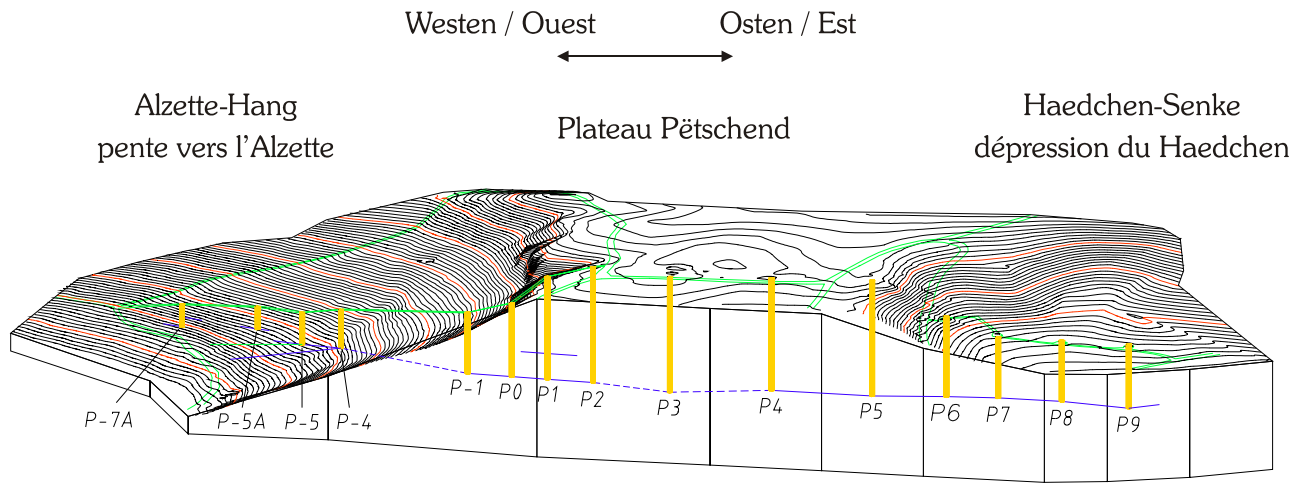


Fig. 2 : Modèle de terrain en 3 dimensions avec vue en perspective de l'ensemble de l'installation

Abb. 2 dreidimensionales Geländemodell der gesamten Anlage in perspektivischer Darstellung

Le site des Raschpëtzer est imposant avant tout par ses dimensions : sa longueur totale est d'environ 600 mètres, dont 340 mètres ont été explorés avec certitude, mais c'est surtout sa profondeur, qui atteint à certains endroits 36 mètres sous terre, qui est remarquable. C'est d'ailleurs cette grande profondeur qui caractérise l'installation et la rend unique en son genre. En effet, d'autres qanats datant de l'époque romaine ont été découverts, au Luxembourg (Noertzange, Emerange, Frisange) ainsi que dans la région de Trèves toute proche, mais il s'agit alors de tunnels nettement moins longs et d'une profondeur de 6 à 10 m seulement et non pas de 36 m.

Les connaissances et l'expérience des constructeurs romains dans des domaines techniques tels que la géologie, l'hydrogéologie, la construction de tunnels, la mécanique des sols et la géodésie s'avéraient être absolument remarquables et depuis déjà 14 ans, les deux auteurs se livrent à la tâche passionnante qui est celle de déchiffrer et d'interpréter, d'après une construction antique, ce que ces ingénieurs romains - leurs prédécesseurs - ont dû mettre en place comme concepts et plans pour mener à bien un projet de l'envergure des Raschpëtzer.

Die Raschpëtzanlage imponiert vor allem durch ihre Dimensionen mit einer geschätzten Gesamtlänge von rund 600 m, wovon zur Zeit 340 m sicher erforscht sind, und vor allem mit einer Tiefe von bis zu 36 m unter der Erdoberfläche. Es ist dann auch vor allem diese Tiefe, welche die Anlage charakterisiert und in ihrer Art einzigartig macht, sind doch ähnliche Qanatbauten aus römischer Zeit sogar in Luxemburg (Noertzange, Emerange, Frisange) und im Trierer Raum (Mehring, Pöhlich, Talling...) durchaus bekannt, doch handelt es sich hier um Tunnelbauten von 6 bis 12 m Tiefe und eben nicht um 36 m.

Die technischen Anforderungen, sowie die notwendigen Kenntnisse und Erfahrungen der ausführenden römischen Ingenieure auf den Gebieten Tunnelbau, Erdbau, Vermessung und Geologie waren absolut beachtenswert und es scheint beiden Autoren eine faszinierende Aufgabe seit nunmehr 14 Jahren aus einem antiken Tunnelbauwerk dasjenige herauszulesen und zu deuten, was der antike Berufsvorgänger seinerzeit an Planungsideen und Konzepten entwickelt haben muss, um ein Projekt der Grösse der Raschpëtzer zu realisieren.

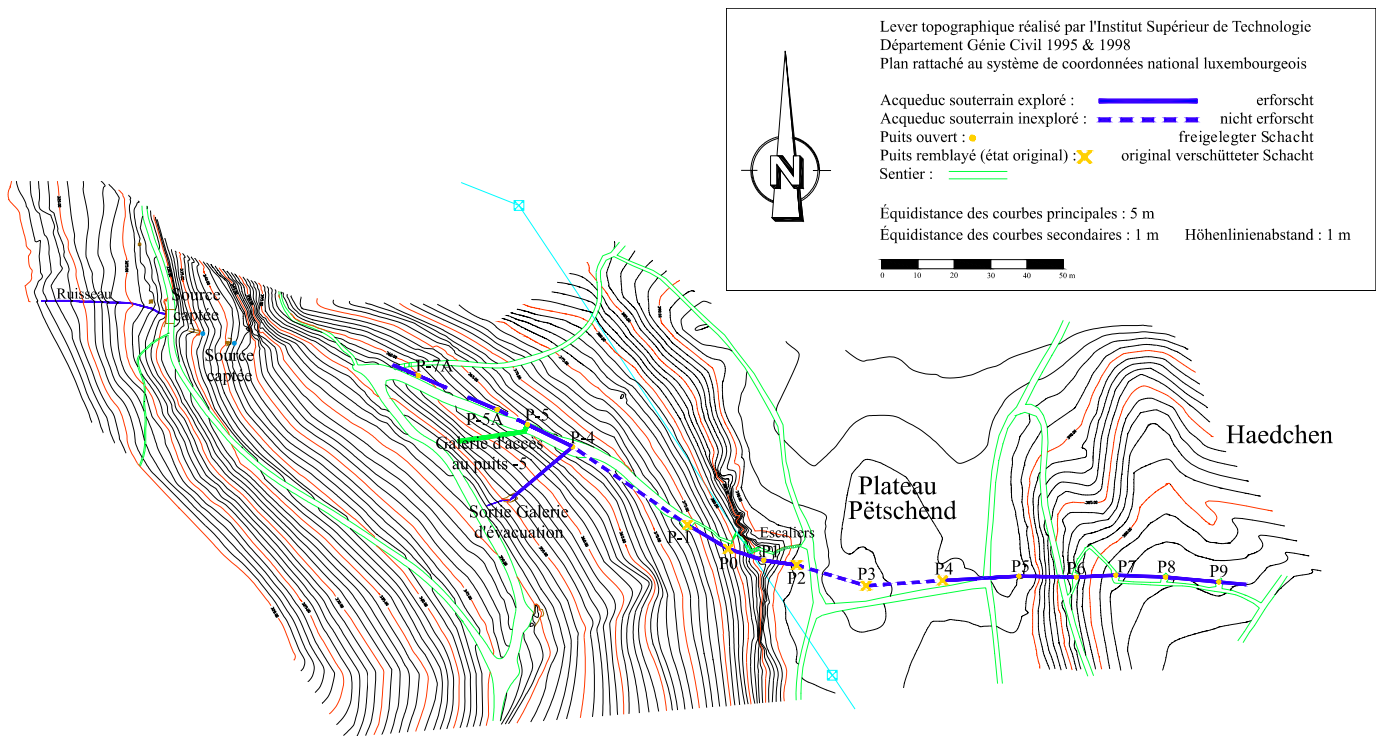


Fig. 3 : Plan d'ensemble du site exploré à ce jour, avec la conduite souterraine

Abb. 3: Lageplan der gesamten aktuell bekannten Situation mit der unterirdischen Wasserleitung

Comme expliqué plus haut, il s'agit d'un aqueduc à écoulement gravitaire, qui selon les dernières fouilles réalisées sur le site, transporte de l'eau potable captée à 20 m sous la surface de la dépression géologique du Haedchen, en traversant le plateau Pëtschend, jusqu'à une source certainement préexistante sur le versant du Sonnenberg, au-dessus de Helmsange (voir Fig. 3). Cette source, qui est la seule de tout le secteur, était donc déjà captée et utilisée par les Romains. Son rendement ne suffisait plus à partir d'un certain moment, le projet des Raschpëtzer fut lancé pour renforcer artificiellement le débit de la source. L'eau servait sans aucun doute à alimenter un ensemble de villas, situées à environ 800 m de la source, à proximité de l'actuel poste de transformation de haute tension de la Cegedel à Helmsange, dont la construction dans les années 70 a malheureusement détruit le site en question. La conduite qui amenait l'eau à destination depuis la source était soit un écoulement à l'air libre, soit en tuyaux de bois et il est donc peu probable d'en retrouver des vestiges de nos jours.

Bei den Raschpëtzer handelt es sich wie bereits erwähnt, um eine unterirdische Freispiegelwasserleitung, welche Trinkwasser aus der 'Haedchen'-Senke, unter dem 'Pëtschend'-Plateau hindurch, laut letzten Grabungsergebnissen sehr wahrscheinlich bis zu einer bestehenden Quelle im Hang des Sonnenberges oberhalb von Helmsange brachte (siehe Abb. 3). Diese Quelle, welche übrigens die einzige im gesamten Gebiet ist, war demzufolge von den Römern bereits gefasst und genutzt, allerdings muss ihr Wasserdargebot ab einem bestimmten Moment nicht mehr ausreichend gewesen sein, wodurch dann das Raschpëtzerprojekt als künstliche Quellenverstärkung geplant und realisiert werden musste. Die Wasserversorgung diente mit grosser Sicherheit einem grösseren Villenkomplex in rund 800 m Entfernung der Quelle, nahe der heutigen Hochspannungs Transformationsanlage der Cegedel in Helmsange. Die Wasserleitung von der Quelle bis zum Zielort ist sehr wahrscheinlich in offener Bauweise erstellt worden, so dass man hier kaum noch Überreste finden wird.

L'installation a été aménagée vers 130 après J.C., date clairement déterminée par l'analyse dendrochronologique, réalisée à Trèves, d'un morceau de bois de chêne montrant des traces d'usure d'une corde et ayant donc servi pendant la construction (figure 27). Un deuxième morceau de bois de chêne issu des remblais de l'un des puits et datée à 267 ap. J.C. prouve que l'installation a été entretenue au moins jusqu'à cette date.

Il s'agit bien ici d'un tunnel, c'est-à-dire d'une construction souterraine, pour laquelle l'implantation horizontale de l'axe ainsi que de la pente ont dû faire l'objet d'une planification préalable bien précise et non pas d'une galerie d'exploitation, où le constructeur suit simplement un filon de minerai pour l'exploiter et où la cavité ainsi créée n'est pas utilisée en tant que telle. Les travaux d'ingénierie, de planification et d'exécution relatifs à la construction d'un tunnel, sont en effet beaucoup plus compliqués et importants et donc à peine comparables aux problèmes et standards techniques de la mise en exploitation d'une mine avec ses galeries.

Des connaissances précises en géologie et avant tout en hydrogéologie constituent la condition sine qua non à tout projet d'installation d'un nouveau système de captage et d'alimentation en eau. On peut en effet difficilement imaginer qu'un projet de l'envergure des Raschpétzer ait été lancé pour ne pas trouver d'eau par la suite, voire pour être contraint de l'abandonner purement et simplement en raison d'une faille du sous-sol ou pour ne pas pouvoir atteindre l'endroit prévu en raison d'une mauvaise détermination de l'inclinaison des couches géologiques.

La première des missions consistait donc, dans l'ordre logique des choses, à trouver de l'eau. Il s'agissait d'analyser à cet égard, grâce à un premier puits de sondage, le rendement de la cuvette du Haedchen qui, à première vue, ne révèle pourtant pas de sources. Or, le niveau de la nappe aquifère correspond à cet endroit à la couche géologique limite entre le grès et les marnes, à environ 19 m de profondeur.

Die Anlage wurde um 130 n. Chr. gebaut und mindestens bis um 267 n. Chr. unterhalten, Zeitpunkt welcher durch die in Trier durchgeführte dendrochronologischen Analysen von Eichenholz aus der Verfüllung des Schachtes 8, respektiv aus den Sedimentablagerungen am Ende des Tunnels eindeutig bestimmt wurde.

Es handelt sich hier wie gesagt um einen Tunnel, das heisst um ein unterirdisches Bauwerk, welches zielgenau sowohl lage- als auch höhenmässig vorher geplant sein musste und nicht um einen Stollen, wo man im allgemeinen bloss einer unterirdischen Erzader zu deren Abbauzwecken folgen muss und wo die dabei entstehende Kavität an sich nutzlos ist. Die ingenieurtechnischen Planungsarbeiten, sowie die beim Bau selbst gestellten Anforderungen an einen Tunnel sind unvergleichlich höher und somit kaum vergleichbar mit den Problemen und Anforderungen beim Anlegen eines Bergwerkes und beim Stollenbau.

Die erste Voraussetzung bei der Planung einer neuen Wasserversorgungsanlage sind exakte geologische und vor allem hydrogeologische Kenntnisse des Gebietes, denn es ist kaum vorstellbar, dass man ein Bauwerk von der Dimension der Raschpétzer in Angriff nimmt, nur um nachher kein Wasser zu finden, respektiv um es später wegen einer unbekanntenen Verwerfung, oder falsch bestimmten Neigung der geologischen Schichten nicht zu seinem Bestimmungsort leiten zu können.

Die allererste Erkundung galt logischerweise der Wasserfindung, wobei die 'Haedchen'-Senke, welche als Quellgebiet von aussen nicht unbedingt als solches zu erkennen ist, durch einen ersten Sondierstollen auf ihre Ergiebigkeit untersucht werden musste. Der Grundwasserhorizont ist an dieser Stelle identisch mit der geologischen Grenzschicht zwischen Sandstein und Mergel auf rund 19 m Tiefe.

Il s'agissait ensuite de définir un tracé économiquement réalisable à partir du point de captage souterrain de l'eau dans la cuvette du Haedchen, en traversant l'ensemble du plateau Pëtschend, jusqu'à l'endroit souhaité juste au-dessus de la source précitée. Il fallait bien sûr avoir une certaine connaissance des conditions géologiques et surtout de l'inclinaison des différentes couches géologiques.

Als nächstes galt es, eine möglichst ökonomische Trassenführung zwischen der unterirdischen Wasserfundstelle in der 'Haedchen'-Senke, unter dem gesamten 'Pëtschend'-Plateau hindurch bis hin zum eigentlichen Bestimmungsort oberhalb der genannten Quelle zu definieren, wobei selbstverständlich die geologischen Verhältnisse und hauptsächlich die Neigung der geologischen Schichten einigermassen bekannt sein mussten.

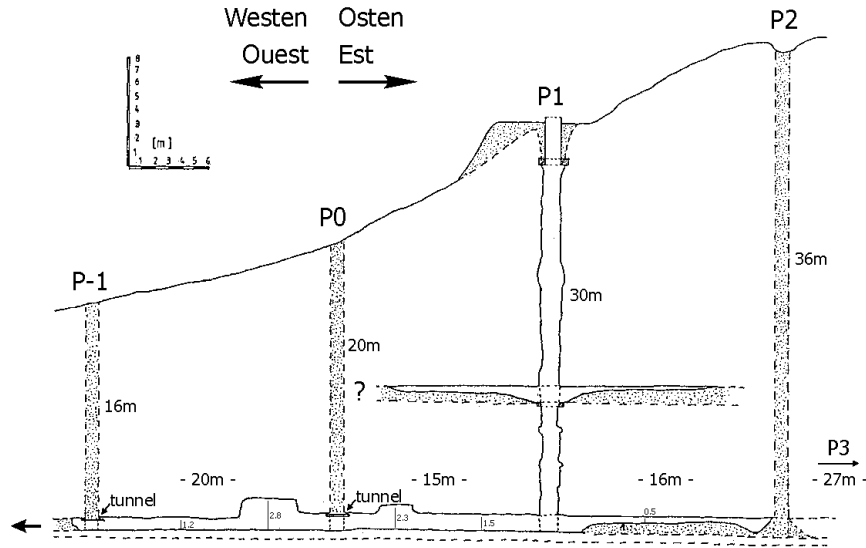


Fig. 4 : Coupe transversale du versant Alzette. Puits de sondage n° 1 avec la galerie en cul-de-sac à mi-hauteur
 Abb. 4 : Querschnitt durch den Hang zur Alzette Schacht P1 mit Blindstollen auf halber Höhe

On peut donc partir du principe que pour la planification du projet, il était nécessaire de forer un ou deux puits pour sonder et explorer de façon sûre et précise les conditions géologiques locales. Le puits n° 1, à l'extrême ouest du bord du plateau Pëtschend, sur le versant de l'Alzette constitue très certainement l'un de ces puits de sondage. Ce puits n°1 marque en effet d'une part l'endroit le plus étroit du plateau Pëtschend et détermine d'autre part un changement de la direction de l'axe du tunnel prévu. Le puits était donc de toute façon indispensable à cet endroit du point de vue géodésique pour l'implantation ultérieure des deux axes du tunnel, d'autre part on trouve une galerie en cul-de-sac de part et d'autre de ce puits, à mi-hauteur environ et sur une longueur d'environ deux fois 15 m.

Man kann also davon ausgehen, dass zu Planungszwecken, d.h. vor Beginn der eigentlichen Tunnelbauarbeiten 1 oder 2 Sondierungsschächte zur geologischen Erkundung gegraben wurden. Einer dieser Sondierungsschächte ist mit sehr grosser Sicherheit der Schacht Nr 1 (P1) am äusserst westlichen Rand des 'Pëtschend'-Plateaus in Hangrichtung Alzette. Zum einen markiert dieser Schacht 1 die schmalste Stelle des 'Pëtschend'-Plateaus und definiert hier einen Richtungswechsel des geplanten Tunnels und war somit aus topographischer Sicht zur späteren unterirdischen Achsabsteckung sowieso an dieser Stelle unerlässlich, und zum anderen befindet sich hier auf etwa halber Höhe ein beidseitiger Blindstollen von rund 2 mal 15 Metern Länge.



Fig.5: galerie de sondage en cul de sac à mi-hauteur du puits 1

Abb.5: Sondierungsstollen im Bereich Pëtz 1

Il est tout à fait probable que cette galerie, creusée dans la première couche de marnes, faisait fonction de galerie de sondage pour déterminer l'inclinaison de cette couche et à partir de là conclure sur la situation géologique globale (fig. 4 et 5)

Dans l'Antiquité, l'implantation horizontale et verticale de l'axe du tunnel projeté sous terre constituait l'un des problèmes techniques majeurs rencontrés par les constructeurs.

Comme il s'agit d'une conduite à écoulement gravitaire, la principale exigence sur le plan technique était celle d'aménager une pente, si possible régulière et de faible amplitude, à partir de la source souterraine ou du point de captage jusqu'à la sortie du tunnel. Une dénivellée vers le haut de la rigole, qui formerait barrage au libre écoulement de l'eau, est à éviter pour des raisons évidentes, toute dénivellation brusque vers le bas (cascade, chute) étant également à proscrire, afin d'éviter les dégâts d'érosion causés par un écoulement turbulent et les travaux d'entretien qui en découleraient. Des tronçons à trop faible inclinaison s'avèrent également peu adaptés. Ils risquent de s'ensabler et de demander eux aussi, à terme, des interventions d'entretien. Nous devons ici souligner le fait que, dans les conduites des Raschpétzer, l'eau continue de couler sans interruption, et bien sûr sans aucun entretien depuis maintenant près de 2000 ans ! Ceci démontre bien le caractère génial de la planification ainsi que les soins apportés aux détails de la réalisation de cet ouvrage d'art et l'ingénierie du projet elle-même ne peut d'ailleurs que susciter notre admiration.

Quelle que soit la saison, le débit est constant et aujourd'hui encore, il atteint par jour 180 m³ d'une eau potable de qualité remarquable, exempte de germes et de nitrates, d'une dureté de 23 degrés carbonatés français à une température moyenne de 9.5 °C.

Dieser Stollen, welcher höhenmässig der ersten Mergelschicht folgt, diente nach Ansicht der Autoren der Neigungsmessung dieser ersten Schicht und damit der gesamten lokalen geologischen Situation. (siehe Abb. 4 und 5)

Eines der Hauptprobleme beim Antiken Tunnelbau war selbstverständlich die vermessungstechnische Absteckung der geplanten unterirdischen Tunnelachse und dies sowohl lage-, als auch höhenmässig.

Da es sich hier um eine Leitung im offenen Gerinne handelt, ist die erste technische Voraussetzung die eines möglichst gleichmässigem, schwachem Gefälles, von der unterirdischen Quelle, respektiv Wasserfassung bis zum geplanten Zielort. Es dürfte einleuchtend sein, dass wegen des freien Spiegels des fließenden Wassers ein Höhenversatz nach oben in Fliessrichtung (Staustufe) der geplanten Rinne auf gar keinen Fall auftreten darf, allerdings ist ein Höhenversatz nach unten (Wasserfall) auch möglichst zu vermeiden, um Erosionsschäden durch turbulente Strömung nach der Inbetriebnahme und damit verbundene Wartungsarbeiten zu vermeiden. All zu flache Abschnitte sind ebenso ungeeignet, wegen der Versandungsgefahr und ebenfalls anfälligen späteren Wartungsarbeiten. Man sollte vielleicht an dieser Stelle wiederholen, dass das Wasser auch heute noch immer in der Raschpétzleitung fliesst und das ohne Unterbrechung und selbstverständlich ohne Wartung seit nunmehr fast 2000 Jahren. Diese Tatsache unterstreicht vielleicht am eindrucksvollsten die Genialität der Planung und die Sorgfalt bei der Ausführung dieser Wasserleitung und verdient damit allein als Ingenieurleistung eigentlich Hochachtung.

Die Wassermenge ist über die Jahreszeiten hinaus konstant und beträgt heute noch rund 180 m³ pro Tag. Das Wasser hat hervorragende Trinkwasserqualität, ist keim- und nitratfrei mit einer Gesamtkarbonathärte von 32 deutschen Härtegraden bei einer mittleren Temperatur von 9.5°C.



Fig. 6 Nivellement près du puits 5

Abb. 6 Nivellement im Bereich Pätz 5

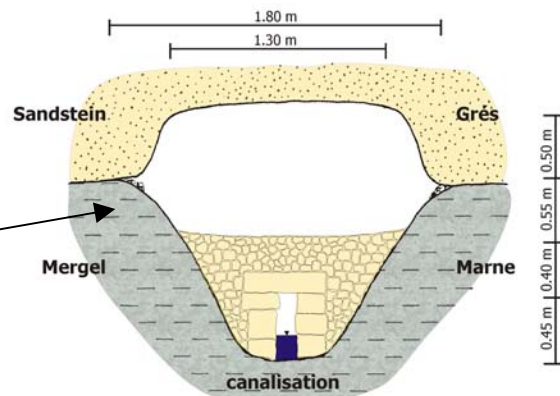


Fig. 7. Coupe transversale du tunnel et de la conduite d'eau près du puits 5 (voir aussi fig. 6)

Abb. 7 Querschnitt Tunnel mit Wasserrinne bei Pätz 5 (siehe Abb. 5)



Fig. 8 : Conduite découverte

Abb. 8 aufgedeckte Wasserrinne

Lors de la planification d'une nouvelle conduite d'eau, l'une des exigences, valable pour l'époque et de nos jours également, est de connaître les niveaux des points de départ et d'arrivée de la conduite. Il suffit pour cela d'effectuer en surface un nivellement précis du parcours. La procédure de nivellement en elle-même est simple et elle a à peine varié depuis l'Antiquité. Il suffit d'aligner sur une grande distance les mesures, positives ou négatives des différences de niveau prises individuellement. La difficulté éventuelle de la procédure réside dans la réalisation d'une ligne de visée horizontale qui conditionne et définit l'exactitude du nivellement.

Une fois le nivellement de base réalisé, il est facile de reporter ces valeurs sous terre dans le tunnel en passant par la verticale des puits. Les puits n'étant pas très éloignés les uns des autres, il était relativement facile d'implanter l'axe vertical de la rigole sous terre avec des moyens simples (niveau d'eau) et d'en effectuer le contrôle d'un puits à l'autre et si nécessaire d'apporter les corrections requises.

Die erste Voraussetzung bei der Planung einer Wasserleitung war früher, genau so wie heute, die exakte Kenntnis der Höhen des Anfangs- und des Endpunktes der Leitung. Hierzu war ein präzises Nivellement an der Oberfläche über die gesamte Strecke die Voraussetzung. Der eigentliche Messvorgang des Nivellierens ist denkbar einfach und hat sich von der Antike bis heute kaum verändert. Er besteht aus dem treppenförmigen Aneinanderreihen einzelner gemessener Höhenunterschiede, welche positiv oder negativ sein können, über eine grosse Entfernung. Die konkrete Schwierigkeit besteht in der Realisierung der horizontalen Bezugslinie und der sich daraus ergebenden Genauigkeit des Nivellements.

Liegt dieses Rahmennivellement vor, so ist es später beim Bau der einzelnen Schächte einfach, diese Höhenwerte über die vertikalen Schächte nach unten in den eigentlichen Tunnel zu übertragen. Auch die vertikale Achsabsteckung des Gerinnes konnte, wegen der kurzen horizontalen Abstände der Schächte, mit sehr einfachen Mitteln (Wasserwaage) vor Ort realisiert und von Schacht zu Schacht immer wieder kontrolliert und wenn notwendig auch korrigiert werden.

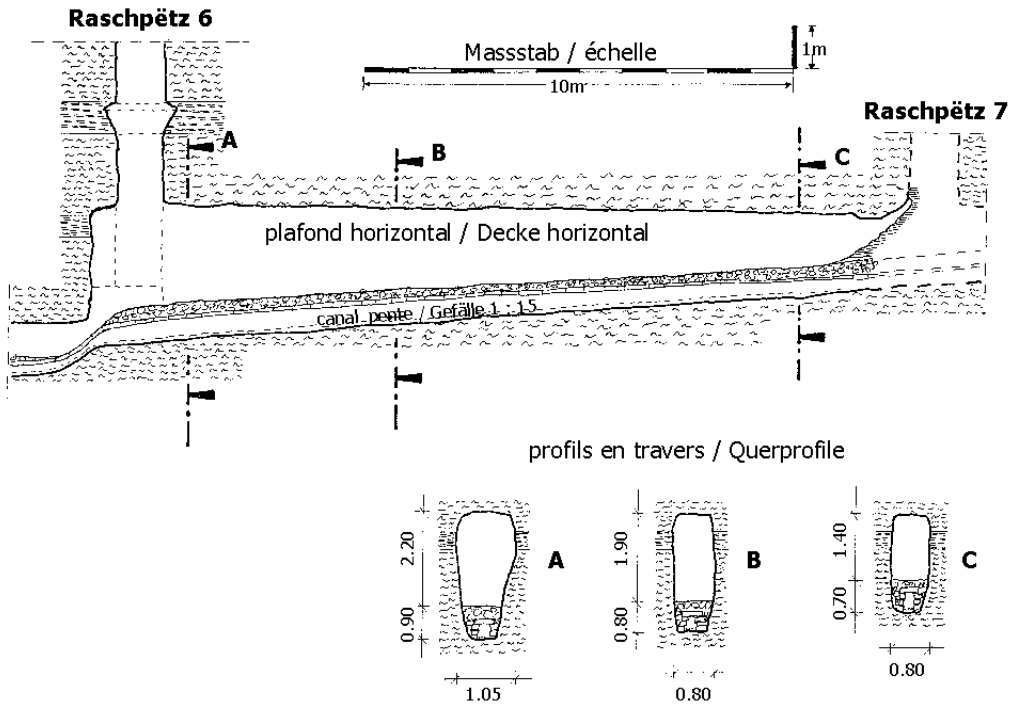


Fig. 9 : Galerie avec voûte horizontale et fond du lit en biais adapté après

Abb. 9 : Galerie mit horizontaler Decke und nachträglich abgeschrägter Sohle

Si l'on considère cependant que pour sa construction, l'ensemble de l'installation a été divisé en lots distincts, réalisés simultanément et de façon indépendante, on comprend qu'une accumulation éventuelle de petites erreurs de nivellement, lors de l'implantation verticale de l'axe était théoriquement possible. Les conséquences de cette éventuelle accumulation d'erreurs seraient néfastes, si lors de la jonction de deux lots il s'avérait que cette erreur d'implantation verticale avait été négative, pour ce cas le lot aval étant plus haut que le lot amont. Afin d'être sûr qu'une telle erreur n'ait pas ces conséquences fatales, une différence de niveau d'environ 2.5 mètres a très probablement été prévue intentionnellement entre les puits 6 et 7, afin de disposer d'une marge de tolérance pour compenser les petites erreurs éventuellement cumulées lors de l'implantation verticale de l'axe de la rigole. (voir fig. 9 et 12)

Ce décalage vertical en forme de palier était corrigé et adapté par la suite, c'est-à-dire après le percement du tunnel et donc une fois la jonction entre deux lots établie. Dans cette section on peut en effet observer une avancée parfaitement horizontale de la voûte du tunnel alors que la sole de ce même tunnel reliant le puits 7 au puits 6 montre une inclinaison progressive. La hauteur de cette section atteint environ 2.5 m. (voir fig.11)

Wenn man allerdings davon ausgeht, dass die gesamte Anlage beim Bau in einzelne Baulose aufgeteilt war, welche gleichzeitig und unabhängig voneinander realisiert wurden, so wäre eine Anhäufung von einzelnen kleineren Messfehlern bei der vertikalen Absteckung eines gesamten Bauloses durchaus möglich. Die Folgen beim Zusammenstoß beider Lose wären im Falle eines Höhenfehlers mit falschem Vorzeichen dabei selbstverständlich dramatisch.

Um dies sicher auszuschließen wurde, sehr wahrscheinlich mit Absicht, ein Höhenversatz von ungefähr 2.5 Metern zwischen den Schächten 6 und 7 geplant, um damit eine Toleranz für die Einflüsse von unbeabsichtigten und eventuell kumulierten Fehlern bei der Höhenabsteckung zu haben. (Abb 9 und 12)

Nachträglich, das heisst nach dem Durchbruch des Tunnels und damit der Verbindung von 2 Baulosen, wurde dieser Höhenversatz korrigiert. Man kann in diesem Bauabschnitt nämlich einen genau horizontalen Vortrieb der Tunneldecke feststellen, während die Tunnelsohle von Schacht 7 zum Schacht 6 hin kontinuierlich abgeschrägt ist. Die lichte Höhe beträgt in diesem Abschnitt demnach rund 2.50m.

(siehe Abb. 11)

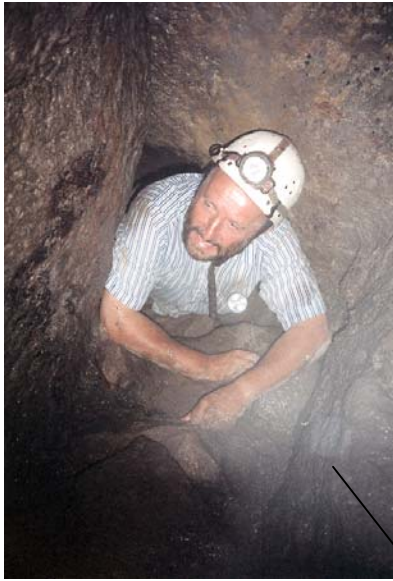


Fig. 10: Jonction entre deux lots de construction à l'endroit du décalage vertical

Abb. 10 Profil Schacht 6 mit dem Bereich des Zusammenschlusses von 2 Baulosen und horizontalem Versatz

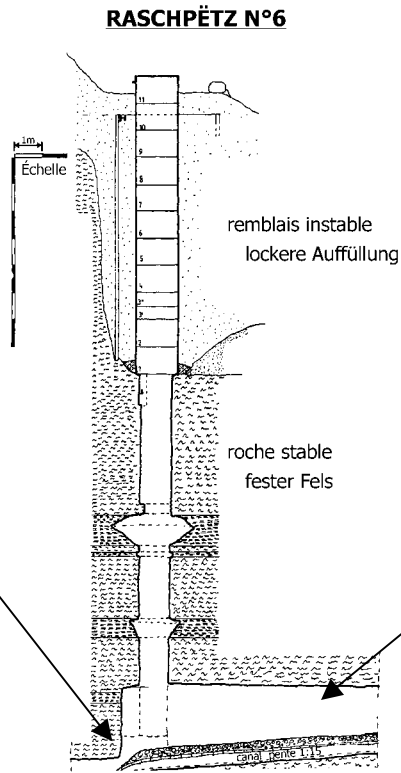


Fig. 12 Profil du puits 7 avec la jonction de deux lots de construction à l'endroit du décalage vertical

Abb. 12: Tunnel bei Pétz 7 im Bereich der abgeschrägten Tunnelsohle



Fig.11 : Tunnel près du puits 7. Voûte horizontale et fond en biais adapté après la jonction de deux lots de construction

Abb. 11 : Tunnel bei Pétz 7 im Bereich der abgeschrägten Tunnelsohle

Si l'on veut creuser un tunnel souterrain allant de A vers B en conservant une trajectoire donnée et bien définie, le principal problème, aujourd'hui tout comme il y a 2000 ans, est celui de l'orientation horizontale. Dans l'antiquité, tant que le constructeur pouvait suivre une trace souterraine parfaitement rectiligne à partir de l'entrée du tunnel, le problème de l'orientation horizontale ne se posait guère. En fait il pouvait toujours s'orienter d'après la lumière du jour à l'entrée du tunnel et ainsi corriger en permanence les petites déviations du nouveau percement. Si pour une raison quelconque (morceau de roche dure, faille) le projet révèle qu'une progression rectiligne n'est pas possible, voire qu'un obstacle souterrain doit être contourné, la lumière du jour ne peut évidemment plus aider à l'orientation. Le problème qui se pose alors est celui du report souterrain exact de l'axe projeté.

Wenn man einen unterirdischen Tunnel zielgenau von A nach B vorantreiben möchte, so ist das Hauptproblem aus vermessungstechnischer Sicht, vor 2000 Jahren genau so wie heute, die horizontale Orientierung. So lange der antike Tunnelbauer eine exakt gerade Trasse unterirdisch auffahren möchte, stellt sich das Problem eigentlich nicht, kann er sich doch immer wieder am einfallenden Tageslicht am Tunneleingang orientieren und kleine Richtungsabweichungen der neuen Vortriebsstrecke immer wieder korrigieren. Wenn aus Gründen der Trassenplanung ein gerader Vortrieb nicht möglich ist, respektiv wenn ein unterirdisches Hindernis (harte Felspartie. oder eine Verbruchstelle) krummlinig umfahren werden muss, so fällt der Lichtpunkt am Tunneleingang als Orientierungshilfe aus und es stellt sich somit das Problem der unterirdischen Übertragung der geplanten Vortriebsrichtung.

Dans le cas des Raschpëtzer, le principe de construction du qanat a apporté la solution au problème. Il s'agit d'un système de puits creusés verticalement à intervalles plus ou moins réguliers jusqu'à la profondeur désirée. Le tracé ainsi implanté en surface pouvait dès lors être reporté sur le fond du puits à l'aide de deux fils à plomb et l'axe du tunnel pouvait en être extrapolé, comme le montre la fig. 13.

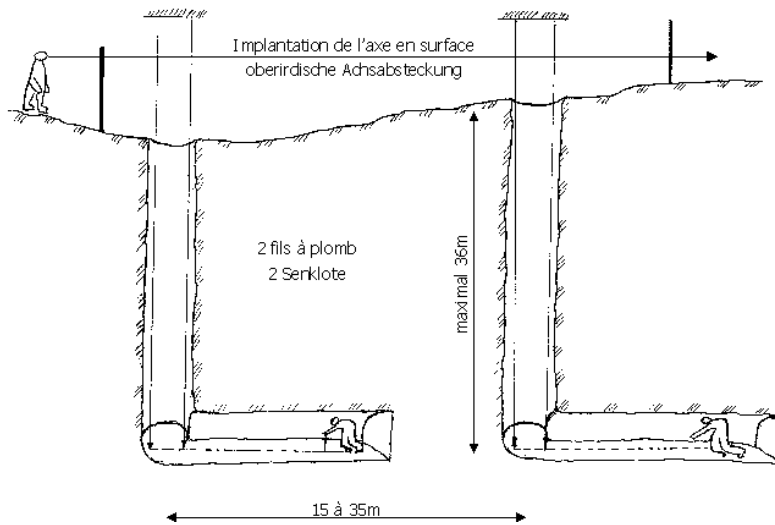


Fig 13: report au fond du puits de l'axe horizontal implanté à l'extérieur.

Abb. 13: Übertragen einer oberirdisch abgesteckten Achse auf die Tunnelsohle

Le creusement du tunnel entre deux puits voisins s'effectuait apparemment toujours d'ouest en est et il arrivait que l'on rate une première fois de 2 à 3 m le puits suivant. Le tunnel reliant le puits 4 au puits 5 montre clairement un axe parfaitement centré au début du creusement près du puits 4, le puits 5 ayant été manqué en raison d'une déviation nord de près de 3 mètres (fig. 15).

Après avoir creusé sous terre, au départ du fond du puits 4, la distance mesurée en surface entre les puits 4 et 5 sans avoir atteint le puits 5, ce sont des coups frappés au fond de ce puits qui ont servi à orienter les travaux de façon à rejoindre, par un crochet, ledit puits. Une fois le fond du puits 5 atteint de façon latérale, les travaux repartaient de façon similaire, à partir du centre du puits 5, en vue d'une jonction avec le puits 6. (fig. 15)

Die Lösung dieses Problems bestand im Falle Raschpëtzer in der Wahl der Qanatbauweise, wobei senkrechte Schächte in mehr oder weniger regelmäßigen Abständen bis zur geplanten Tiefe abgetäuft wurden. Die oberirdisch abgesteckte Trasse konnte dann mit Hilfe von 2 Loten nach unten an die Tunnelsohle übertragen werden, wie es Skizze 13 anschaulich darstellt.



Fig. 14: Puits 7 vu d'en bas (profondeur: 20 m)

Abb. 14 Schacht 7 von unten (20 m tief)

Die unterirdische Tunnelverbindung zwischen jeweils benachbarten Schächten wurde offensichtlich immer von Westen nach Osten einseitig aufgefahren, wobei der nächste Schacht als Ziel dann auch einige Male um 2 bis 3 Meter zunächst verfehlt wurde. Die Verbindung Schacht 4 – Schacht 5 zeigt sehr deutlich, wie der Tunnel von Schacht 4 aus zentrisch aufgefahren wurde und wie Schacht 5 nördlich um fast 3 Meter verfehlt wurde. (Abb. 15)

Nachdem die oberirdisch gemessene Distanz von Schacht 4 aus aufgefahren war, ohne dass Schacht 5 getroffen wurde, kann man annehmen, dass Klopfzeichen an der Sohle von Schacht 5 als Orientierungshilfe dienten, um auf diese Weise Schacht 5 mit einem Haken- oder Querschlag zu treffen. Nachdem die Sohle 5 auf diese Weise seitlich getroffen worden war, wurde die Verbindung 5-6 auf ähnliche Weise zentrisch von Schacht 5 aus wieder aufgefahren. (siehe Abb. 15)

Entre les puits 8 et 9, on constate également une erreur d'implantation de l'axe horizontal similaire et tout aussi grossière (fig. 16).

Einen ähnlich groben Messfehler kann man zwischen den Schächten 8 und 9 beobachten. (siehe Abb. 15)

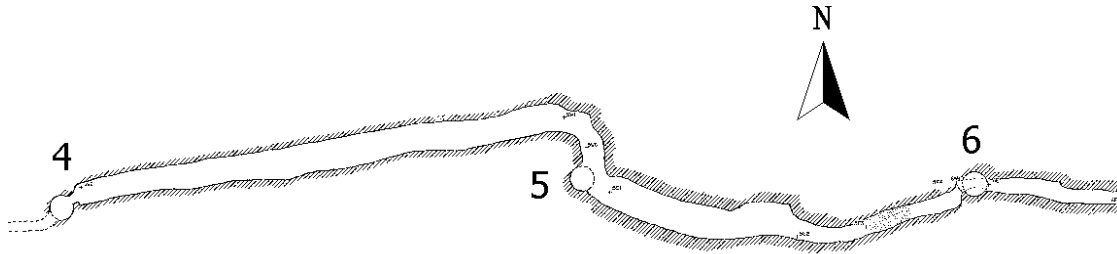


Fig. 15 plan de situation 4-5-6 montrant une erreur évidente d'implantation du gisement horizontal

Abb. 15 Lageplan 4-5-6 mit deutlich sichtbarem Fehler bei der Richtungsabsteckung

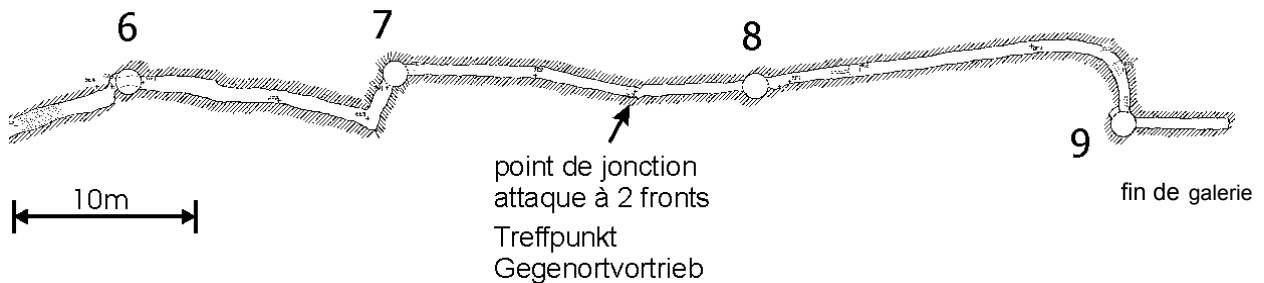


Fig. 16 : plan de situation 6-7-8-9 avec une erreur d'implantation du gisement horizontal au puits 9 et avec point de rencontre entre les puits 7 et 8 de l'avancée simultanée à partir de ces puits.

Abb. 16 Lageplan 6-7-8-9 mit Fehler bei der Richtungsabsteckung bei Schacht 9 und mit Treffpunkt des Gegenortverfahrens zwischen den Schächten 7 und 8

Enfin, il est logique que la construction du tunnel ait toujours progressé unilatéralement et dans le même sens, c'est-à-dire à chaque fois d'aval en amont. Cela permettait en effet de donner à l'axe du tunnel, dès la construction, la faible pente qu'aurait plus tard la conduite d'eau. En effet on travaillait de cette façon en permanence dans le sens inverse du courant de l'eau et il était donc facile d'évacuer l'eau de suintement de façon naturelle vers l'arrière, en direction du puits, où elle pouvait être puisée et éliminée avec les autres matériaux de déblais avant le perçage, ou s'écouler librement vers l'aval, par le biais de la conduite déjà construite après la jonction avec le lot aval.

Es ist übrigens logisch, dass der gesamte Tunnel einseitig, jeweils von West nach Ost aufgeföhren wurde, da die Tunnelsohle bereits beim Bau die schwache Neigung der späteren Wasserleitung erhalten hat und man auf diese Weise immer gegen die Fliessrichtung des Wassers arbeiten konnte. Es war demnach einfach, die Baustelle frei von Sumpfwasser zu halten, welches auf natürliche Weise zum rückwärtigen Bauschacht floss, wo es entweder durch Ausschöpfen mitsamt dem Aushubmaterial entsorgt werden konnte, oder über die bereits fertiggestellte Wasserrinne rückwärts, frei abfließen konnte.

Pour les Raschpëtzer, il n'y a qu'une exception à ce principe de construction, d'ailleurs fort intéressante à ce titre. Elle concerne la jonction entre les puits 7 et 8 où apparemment le tunnel a été attaqué en creusant simultanément à partir du centre du fond des puits 7 et 8, pour se rencontrer à plus ou moins mi-chemin. Le point de jonction de ces deux lots est d'ailleurs clairement visible entre ces deux puits et montre plus ou moins un angle droit, réalisé après un crochet de recherche. (voir fig. 17)

On peut imaginer que dans le meilleur des cas, les eaux d'infiltration ont pu être éliminées ensemble avec les déblais par les puits verticaux jusqu'aux environs du puits 5. Le processus de construction du qanat, avec ses puits verticaux permettait donc de diviser l'intégralité du projet de tunnel en une multiplicité de lots de chantier distincts où la construction pouvait avoir lieu simultanément, ce qui permettait de réduire considérablement la durée totale de construction du projet entier.

Dès que le tunnel progressait sous le lieu de captage de la dépression du Haedchen, il n'était plus possible comme avant d'éliminer l'eau, présente dès lors en trop grande quantité. Il fallait donc, à partir de cet endroit, assurer un écoulement permanent et naturel vers l'arrière, c'est-à-dire la canalisation devait être terminée et opérationnelle en aval de cet endroit.

Les puits 6, 7, 8 et 9 servaient à capter l'eau par drainage et abaissement du niveau naturel de la nappe phréatique du Haedchen. Le projet a pu être terminé après la rencontre d'une importante veine d'eau à proximité du puits 8. Les 20 derniers mètres du tunnel déjà creusé reliant les puits 8 et 9 n'ont par conséquent plus été équipés de canalisation (fig. 18 et 19).

Pendant la construction, l'éclairage était assuré par des lampes à huile posées en vis-à-vis par paires dans des niches spécialement aménagées. (fig. 20)

Eine einzige und daher sehr interessante Ausnahme zu dieser, ansonsten bei den Raschpëtzer allgemeinen Regel, beobachten wir zwischen den Schächten 7 und 8, wo die Tunnelverbindung ganz offensichtlich im Gegenortverfahren gebaut wurde. Man hat hier, zentrisch von den beiden Tunnelsohlen 7 und 8 die Tunnelverbindung gegenseitig aufgeföhren, um sich auf halber Strecke zu treffen. Dies ist ganz eindeutig sichtbar, da ebenfalls hier nach den beiden aufgeföhrenen Sollstrecken der eigentliche Durchbruch nicht geschafft wurde und die Verbindung erst nach einem fast rechtwinkligen Querschlag erfolgte. (siehe Abb.17)

Man kann sich vorstellen, dass das anfallende Sickerwasser je Streckenabschnitt höchstens bis zum Bereich von Pëtz 5 zusammen mit dem anfallenden Aushubmaterial durch die Schächte abgeschöpft werden konnte. Die Qanatbauweise mit einer Vielzahl von senkrechten Schächten ermöglichte es, das gesamte Tunnelprojekt bis an diese Stelle in einzelne Baulose aufzuteilen, welche theoretisch alle gleichzeitig realisiert werden konnten. Dies verkürzte selbstverständlich die Gesamtbauzeit des Projektes ganz erheblich.

Sobald der Tunnel unter das eigentliche Wassereinzugsgebiet der 'Haedchen'-Senke vorstieß, war dies wegen der nun erheblich höheren anfallenden Wassermengen nicht mehr möglich und es musste ein durchgehender natürlicher Abfluss nach hinten gewährleistet sein, das heisst die Wasserrinne musste soweit fertig gestellt sein.

Die Schächte 6, 7, 8 und 9 dienten der Wassergewinnung durch Drainage und Absenkung des natürlichen Grundwasserspiegels der 'Haedchen'-Senke und nachdem ebenfalls eine grössere unterirdische Wasserader im Tunnelbereich bei Pëtz 8 angeschnitten war, konnte das Projekt beendet werden. Die letzten 20 Meter des bereits gegrabenen Tunnels 8-9 wurden dann auch gar nicht mehr mit der Wasserrinne ausgebaut. (Abb. 18 und 19)

Zur Beleuchtung der Baustelle dienten Öllampen, welche in speziellen Nischen jeweils paarweise gegenüber angebracht waren. (Abb. 20)



Fig. 18. Début de la conduite d'eau construite entre les puits 8 et 9

Abb. 18 : Anfang der gebauten Wasserrinne zwischen Petz 8 und Petz 9



Fig.19: origine du qanat

Abb. 19 : Anfang des Qanates



Fig. 20 : Niche pour lampe à huile près des puits 5 et 6

Abb. 20 Nische bei 5-6 für Öllampe



Fig.17: lieu de rencontre entre les puits 7 et 8

Abb. 17 : Treffpunkt des Gegenortvortrieb

La formation de fumées, voire même l'alimentation en oxygène ont dû poser problème, car dans l'ensemble du secteur souterrain du Plateau Pëtschend à la cuvette du Haedchen, la construction du tunnel a progressé dans un secteur saturé d'eau, c'est-à-dire dans un environnement où toutes les cavités naturelles de la roche sont remplies d'eau et où la circulation de l'air est quasi impossible. Seuls les puits verticaux permettaient d'assurer la ventilation de l'installation.

Die Rauchentwicklung, respektiv die Sauerstoffzufuhr dürfte dabei ebenfalls problematisch gewesen sein, da der Stollenvortrieb im gesamten Bereich unter dem 'Pëtschend'-Plateau und unter der 'Haedchen'-Senke im wassergesättigtem Bereich stattfand, das heisst in einer Umgebung, wo alle natürlichen Hohlräume des Gesteins mit Wasser gefüllt sind und fast keine Luftzirkulation möglich ist. Die Bewitterung der Anlage erfolgte demnach ausschliesslich über die senkrechten Schächte.

La découverte du puits 4 sur le versant est de l'Alzette s'avère être particulièrement intéressante. Il s'agit en effet du seul puits qui a été intégralement maçonné de moellons, recouvert d'une grande pierre plate et qui est resté complètement ouvert jusqu'au moment de sa découverte (fig. 21).

Alors que tous les autres puits ont été – partiellement au moins – comblés par leur constructeur une fois la canalisation terminée et l'installation mise en service, ce puits-ci est resté librement accessible. La canalisation se trouvant sur le fond du tunnel est également ouverte et directement visible et non pas, comme partout ailleurs, recouverte de pierres plates. Le détail le plus intéressant est une bifurcation vers l'ouest en forme de T de la canalisation qui est dotée d'un seuil artificiel de 10 cm pour le trop-plein. (fig. 22 et 24).

Un barrage, même peu important, de la canalisation principale à l'aide d'une simple pierre ou d'un madrier provoque, par voie de reflux, une déviation du cours d'eau qui franchit donc ce seuil de pierre pour s'écouler en partie ou intégralement dans la rigole latérale. De toute évidence nous avons ici affaire à une antique vanne de déviation qui permettait de laisser l'eau suivre son cours principal vers le nord - ouest, ou de la dévier vers le sud - ouest et de la laisser s'écouler, par le plus court chemin et par une galerie latérale, vers l'extérieur.

Ce système simple, mais ô combien ingénieux, fonctionne aujourd'hui encore. Il a été utilisé en l'état en 1999 pour garder à sec le lieu de fouilles à environ 20 m en aval, au puits -5. Il semble évident que ce drainage latéral permettait d'effectuer des travaux sur la partie aval de l'installation et d'évacuer vers l'extérieur par écoulement libre les eaux d'infiltration, à une époque où la partie aval de l'installation n'était pas encore terminée. Ce simple stratagème permettait à nouveau de diviser le chantier entier en deux grands lots distincts et indépendants ce qui permettait de diviser la durée totale de construction par deux.

Ein sehr interessanter Fund war die Entdeckung des Pütz-4 im Alzettehang. In der Tat handelt es sich hierbei um den einzigen Schacht der erstens im Bereich des Hangschutts vollständig mit Bruchsteinen gemauert ist und zweitens um den einzigen Schacht der völlig offen war und oben mit einem Deckel aus Stein verschlossen war. (Abb. 21)

Während alle übrigen Schächte nach der Fertigstellung der Wasserrinne und nach der Inbetriebnahme der Anlage noch vom Erbauer zumindest teilweise wieder verfüllt wurden, blieb dieser Schacht offensichtlich zugänglich. Die Kanalisation an der Sohle ist ebenfalls offen und nicht wie überall sonst durch Kalkplatten abgedeckt und interessanterweise zeigt sich hier eine T-förmige Abzweigung nach Westen mit einer ca. 10 cm hohen Überlaufschwelle. (Abb. 22 und 24)

Ein leichtes Aufstauen des Hauptkanals mit einem Stein oder einer Holzbohle bewirkt durch Rückstau ein entsprechendes seitliches Wasserableiten über diese Steinschwelle. Wir haben es hier also offensichtlich mit einem antiken Schieber zu tun, welcher es ermöglichte, das Wasser wahlweise im Hauptstrang weiter nord - westlich fließen zu lassen oder eben durch eine seitliche Galerie in Hangrichtung süd – westlich auf dem kürzesten Weg austreten zu lassen.

Dieses einfache und intelligente System funktioniert heute noch und wurde im Jahre 1999, nach der Entdeckung des Schiebers, genau so wieder in Betrieb genommen, um damit die Grabungsstelle bei Pütz -5 rund 20 m flussabwärts wasserfrei zu halten. Es scheint ganz klar, dass zumindest während der Bauzeit diese seitliche Drainage es ermöglichte im oberen Teil der Anlage zu arbeiten und Sickerwasser rückwärts abfließen zu lassen, ohne dass der untere Teil bereits fertiggestellt war. Die Gesamtbauzeit der Anlage konnte durch diesen einfachen Trick demnach noch einmal erheblich reduziert werden.



Fig. 21: puits -4

Abb. 21: Pätz -4



Fig. 22: bifurcation en forme de T

Abb. 22 Abzweigung Rinne



Fig. 23: descente dans le puits -4 entièrement maçonné

Abb.23 : Einstieg in den gemauerten Schacht -4

Cette explication semble tout à fait plausible mais elle paraît cependant insuffisante. En effet, si cette vanne de déviation n'avait été destinée qu'à fonctionner pendant la période de construction, il n'y aurait pas de raison apparente pour que ce puits ait été totalement maçonné et d'une façon aussi parfaite. De plus, il aurait pu, comme les autres, être comblé par son constructeur une fois le chantier terminé et l'installation mise en service. Comme cette déviation de la rigole est, en fait, restée accessible tant que l'installation était utilisée, la quantité d'eau délivrée par le biais du canal principal pouvait donc, selon les besoins, être réduite voire même, cette bifurcation pouvait au besoin servir à alimenter un autre consommateur éventuel non prioritaire.

Diese Erklärung scheint sehr wohl wahrscheinlich, doch ist sie nicht unbedingt ausreichend, denn falls diese Schieberkammer nur während der Bauphase funktionieren sollte, so spricht eigentlich nichts dafür, dass man den Schacht derart aufwendig und vollständig ausgemauert hat und vor allem hätte ja auch dieser Schacht, so wie alle anderen auch, nach der Fertigstellung und der Inbetriebnahme der Anlage wieder vom Erbauer verfüllt werden können. Dieser Schieber war aber ganz offensichtlich während der gesamten Betriebszeit der Anlage zugänglich und so konnte hier die anfallende Wassermenge im Hauptkanal bei Bedarf reduziert werden, respektiv es konnte ein zweiter Abnehmer ab dieser Zweigstelle wahlweise versorgt werden.

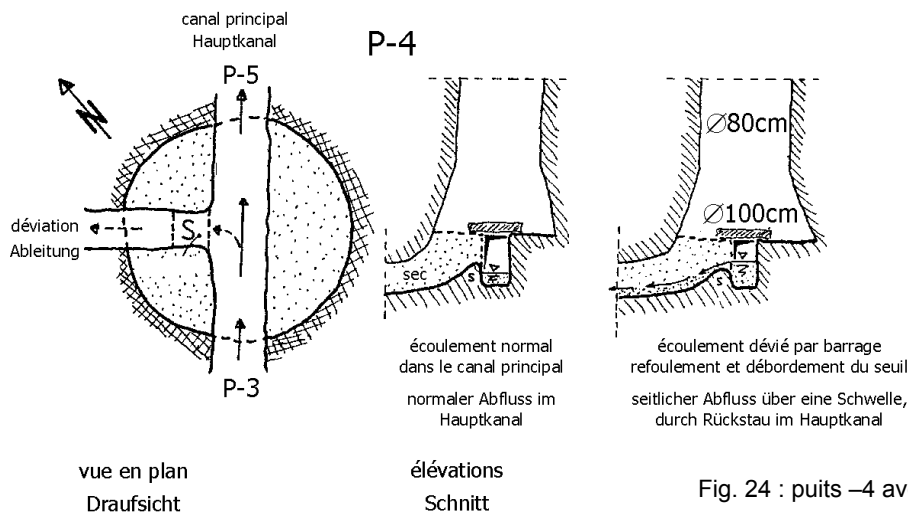


Fig. 24 : puits -4 avec trop-plein latéral
Abb. 24 : Petz -4 mit seitlichem Überlauf

Pour finir, il sera sans doute intéressant pour le lecteur de disposer de quelques données chiffrées, tant sur la partie déjà explorée, que sur la partie présumée existante de l'installation des Raschpétzer :

Longueur totale du tunnel :	330 m explorés à ce jour	600 m estimés
Nombre de puits verticaux :	13 puits connus	20 à 25 puits présumés
Profondeur maximale de puits	36 m	
Distance entre les différents puits :	variable, de 10 à 35 m	
hauteur du tunnel :	variable, de 0.40 à 2.30 m	
Hauteur cumulée des puits verticaux explorés à ce jour :	350 m	
Masse totale estimée de terre déplacée :		
- issue des puits verticaux :	300 m ³ tel qu'exploré à ce jour	550 m ³ présumés au total
- issue du tunnel :	700 m ³ tel qu'exploré à ce jour	1700 m ³ présumés au total
Quantité d'eau captée et transportée :	180 m ³ par jour actuellement	
Période de construction :	II ^e siècle après J.C.	

Zum Schluss ist es wahrscheinlich interessant einige Daten und Zahlenwerte der bis jetzt erforschten und des noch vermuteten Teils der Raschpetzanlage zu erwähnen :

Gesamtlänge des Tunnels :	330 m sicher erforscht	600 m geschätzt
Anzahl der vertikalen Schächte :	bekannt 13	vermutet 20 bis 25
grösste Schachttiefe :	36 m	
Abstand zwischen den einzelnen Schächten :	variabel zwischen 10 und 35 m	
lichte Höhe des Tunnels :	variabel zwischen 0.40 m und 2.30 m	
kumulierte Höhe der bis jetzt bekannten vertikalen Schächte :	350 m	
bewegte Erdmassen : aus den vertikalen Schächten :	300 m ³ zur Zeit erforscht.	550 m ³ insgesamt geschätzt
aus dem horizontalen Tunnel :	700 m ³ zur Zeit erforscht	1700 m ³ insgesamt geschätzt
gefasste und geförderte Wassermenge :	180 m ³ pro Tag	
Bauperiode :	2tes Jh nach Ch	

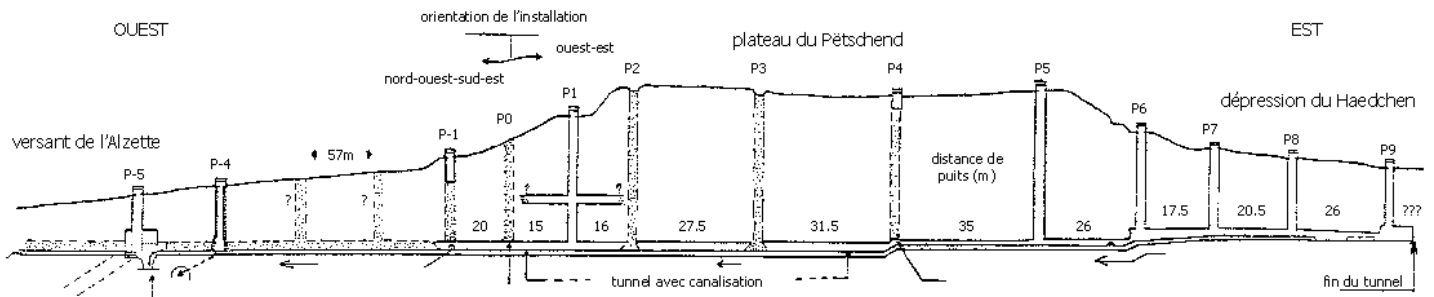


Fig. 25. Coupe longitudinale de la partie de l'installation explorée à ce jour.

Abb. 25. Längsschnitt durch die gesamte bis dato bekannte Anlage

Ces chiffres impressionneront sans doute le lecteur et la question qui se pose est celle de la durée totale d'un tel chantier dans l'Antiquité et des efforts que la réalisation de cet ouvrage a bien pu coûter ?

La bifurcation de la conduite d'eau au puits -4, telle que décrite ci-dessus, avec la possibilité d'évacuation directe des eaux de ruissellement a permis de diviser le projet en deux grands lots de construction :

- 1) La section sortie de galerie jusqu'au puits -4 avec peut-être l'ouvrage de captage de la source existante et la connexion avec la galerie des Raschpétzer. Cette partie de l'installation reste quasiment inexplorée à ce jour.
- 2) Le lot supérieur, allant du puits -4 jusqu'au captage souterrain près des puits 6 à 9. Cette partie de la conduite serait à ce jour parfaitement localisée et en grande partie mise au jour et accessible. Le présent article se réfère donc surtout à cette partie-ci de l'installation.

Le partage de ce complexe en deux lots indépendants présente un avantage certain du point de vue de l'organisation du chantier et du temps nécessaire à la construction, la réalisation des deux lots pouvant avoir lieu simultanément. Pendant la construction du lot inférieur, l'eau était éliminée par la sortie de galerie, c'est-à-dire que le projet progressait de façon ascendante, alors que simultanément, le puits - 4 permettait de débarrasser le lot supérieur, qui progressait de même manière, de son eau excédentaire. De plus chaque puits pouvait être foré séparément et, à quelques exceptions près, les tunnels de jonction pouvaient aussi être creusés simultanément, les eaux de ruissellement étant éliminées en surface avec les matériaux d'excavation par le prochain puits.

Sachant que le travail posté était une pratique courante à l'Antiquité et que l'on travaillait éventuellement aussi de nuit, et compte tenu d'une progression moyenne de ± 20 cm par jour pour le forage d'un puits, on obtient une durée moyenne de forage de 50 à 180 jours par puits.

Le creusement des galeries horizontales étant moins pénible et donc plus rapide, on peut donc estimer de façon réaliste que la durée totale de construction du site des Raschpétzer a été de l'ordre de 2 à 3 ans au maximum.

Angesichts einiger dieser Zahlen ist der Leser möglicherweise beeindruckt und es stellt sich die Frage nach dem Aufwand und der benötigten Zeit zur Realisierung eines solchen Bauwerks.

Die oben beschriebene Abzweigung der Wasserrinne in Pätz -4 mit direkter Ausflussmöglichkeit des Sickerwassers erlaubte es, das gesamte Projekt in 2 grosse Baulose einzuteilen :

- 1) der Abschnitt Mundloch bis Pätz-4, eventuell zusammen mit der oberirdisch verlegten Wasserleitung von der Quelle, respektiv vom Raschpétzgang bis zum Endverbraucher. Dieses Baulos ist bis dato kaum erforscht.
- 2) das obere Baulos von Pätz -4 bis zur Wassergewinnung im Bereich der Schächte 6 bis 9. Dieser Leitungsabschnitt wäre in dem Fall zur Zeit komplett lokalisierbar und grösstenteils ausgegraben und bekannt. Die Ausführungen dieses Aufsatzes beziehen sich dann auch vor allem auf diesen oberen Teil der Anlage.

Diese Einteilung des gesamten Komplexes in zwei unabhängige Baulose ist von der Bauorganisation und vom Zeitaufwand her sehr interessant, da beide Lose gleichzeitig errichtet werden konnten. Das untere Baulos wurde während der Bauphase über das Mundloch entwässert, das heisst das Projekt wurde vom Mundloch her aufwärts vorgetrieben, während Baulos 2 gleichzeitig über Pätz -4 entwässert wurde und ebenfalls aufwärts vorgetrieben wurde.

Darüber hinaus konnte eigentlich jeder Schacht einzeln gegraben werden und mit Einschränkung konnten auch die einzelnen Tunnelverbindungen gleichzeitig aufgeföhren werden. Das anfallende Sickerwasser wurde in dem Fall mit dem Aushub über den nächsten Schacht nach oben entsorgt.

Wenn man ausserdem weiss, dass es durchaus üblich war im Schichtbetrieb und eventuell auch nachts zu arbeiten, so kommt man bei einem Vortrieb von rund 20 cm pro Tag bei der Abteufung der Schächte auf eine durchschnittliche Bauzeit von 50 bis 180 Arbeitstage pro Schacht.

Es ist demnach durchaus realistisch von einer Gesamtbauzeit der Raschpétzanlage in der Grössenordnung von 2 bis höchstens 3 Jahren zu sprechen.



Fig. 26: Pelle en chêne trouvée sur les lieux

Abb. 26 gefundene Schaufel aus Eichenholz



Fig. 27: Planche comportant des traces d'usure due à une corde.

Abb. 27 : Holzbrett mit Schleifspuren eines Seiles

Les principaux problèmes techniques et d'ingénierie n'étaient pas liés à l'impressionnante profondeur des puits 1 à 5, sur le plateau Pëtschend, car ceux-ci ont été intégralement creusés dans un grès peu friable au-dessus de la nappe phréatique. Il en va autrement des puits 6 à 9 dans la dépression du Haedchen où, avant d'atteindre la couche de grès stable, il fallait procéder à l'étaisage, relativement difficile, d'une couche de près de 10 m de matériaux meubles (fig. 12).

De plus, nous nous trouvons ici dans la nappe d'eau souterraine, donc dans un environnement saturé d'eau. Il n'était dès lors plus possible d'évacuer l'eau de ruissellement par les puits ensemble avec les matériaux de l'excavation et seul une évacuation par écoulement libre vers l'arrière et par la conduite déjà achevée en direction de la galerie drainante du puits -4 était concevable. Ceci signifie donc que les puits 6 à 9 n'ont en fait pas pu être achevés simultanément, mais au contraire successivement de l'aval vers l'amont, une fois le reste de l'installation terminée.

Die grössten bautechnischen Probleme dürfen dabei weniger die tiefsten und damit auch die beeindruckendsten Schächte 1 bis 5 auf dem 'Pëtschend'-Plateau darstellen, da diese komplett im standfesten Sandstein errichtet wurden und auch das Grundwasserproblem an dieser Stelle weniger akut ist. Anders verhält es sich für die Schächte 6 bis 9 in der 'Haedchen'-Senke, wo zuerst eine bis zu 10 m mächtige Schicht aus Lockermaterial mit sehr aufwendigen Bodenabstützungen überwunden werden musste, bevor die Sandsteinschicht erreicht wurde. (siehe Abb. 12)

Ausserdem befinden wir uns hier im Wassereinzugsbereich, das heisst in einer vom Grundwasser gesättigtem Umgebung, so dass die Entsorgung des anfallenden Sickerwassers während der Bauperiode kaum mit dem anfallenden Aushubmaterial nach oben möglich war und demnach nur rückwärts über die bereits fertiggestellte Rinne und über die Drainage bei Pëtz -4 zu realisieren war. Dies bedeutet dann selbstverständlich auch, dass die Schächte 6 bis 9 nicht mehr gleichzeitig, sondern nur noch nacheinander und nach Fertigstellung der restlichen Anlage gegraben werden konnten.

Les puits -1 à -4 ainsi que l'ensemble des puits encore susceptibles d'exister le long du flanc de l'Alzette, se trouvent tous en terrain meuble, ce qui signifie que des travaux d'étaillage ont été nécessaires, même si ceux-ci étaient moins importants, vu la profondeur des puits moindre. Ce secteur ne présentait pas non plus de problème d'eau souterraine.

Reste à la fin évidemment la question de la destination finale de cette eau potable de cette construction somme toute très complexe et très onéreuse et il est tout à fait clair qu'un tunnel de cette envergure ne pouvait pas être une fin en soi.

Les campagnes systématiques de fouilles archéologiques des dernières décennies ont prouvé que les villas romaines se suivent à des distances plus ou moins régulières de 700 m à 800 m des deux cotés de la large vallée de l'Alzette. En général ces constructions furent élevées à mi-hauteur des flancs ensoleillés de la vallée, en dehors des zones inondables du fleuve et juste en dessous d'une source jaillissant au pied du grès à ce niveau.

La villa de Walferdange avec ses dimensions de 100 m fois 50 m est une des plus grandes constructions actuellement connues de la région. Son voisin au Nord, qui était le destinataire et le consommateur de l'eau du qanat des Raschpétzer avait une taille probablement comparable, mais malheureusement la très grande majorité de cette construction fut détruite lors de la construction d'un grand poste de transformation électrique sans que des documentations adéquates aient été établies. Les dimensions et la complexité de l'ouvrage de l'alimentation en eau potable par ce qanat artificiel ne laissent cependant pas de doute quand à la position et à la richesse du maître d'œuvre et occupant de cette villa.

Die Schächte -1 bis -4 und alle noch zu findenden übrigen Schächte im Alzettehang befinden sich ebenfalls alle im Lockergestein des Hanges, das heisst auch hier waren Abstützungsarbeiten während der Bauphase notwendig, wenn auch weniger aufwendig, wegen der geringeren Tiefe. Grundwasserprobleme dürften sich hier auf Grund der geologischen Situation keine mehr gestellt haben.

Es bleibt zum Schluss natürlich die Frage nach dem endgültigen Bestimmungsort für das Trinkwasser dieser doch extrem aufwendigen und komplexen Wasserleitung. Es ist ganz klar, dass ein Tunnelbauwerk dieses Ausmasses kein Selbstzweck sein konnte.

Die in den letzten Jahrzehnten systematisch durchgeführten Grabungskampagnen haben gezeigt, dass sich im breiten Alzettegal nördlich der Stadt Luxemburg die Römervillen in mehr oder weniger regelmässigen Abständen von 700 bis 800 m beidseitig des Flusses folgen. Im allgemeinen wurden diese Bauten in bevorzugten, sonnigen Lagen auf halber Hanghöhe, das heisst ausserhalb des Überschwemmungsgebietes des Flusses und direkt unterhalb einer, am Fusse des hier anstehenden Sandsteines entspringenden Quelle errichtet.

Die Villa in Walferdange ist mit ihren 100 mal 50 m eine der grössten zur Zeit freigelegten und erforschten römischen Villen in Luxemburg. Ihr nördlicher Nachbar, welcher ja Abnehmer des Raschpétzer Wassers war, ist von seinen Ausmassen her möglicherweise vergleichbar, nur leider ist der grösste Teil der Anlage heute zerstört und somit auch nur unvollständig erforscht. Der Aufwand und die Dimensionen der künstlichen Wasserversorgungsleitung der Raschpétzer lässt allerdings kaum Zweifel zu, bezüglich der Macht, respektiv des Reichtums des hierfür verantwortlichen Bauherrn und Bewohner dieser Villa.

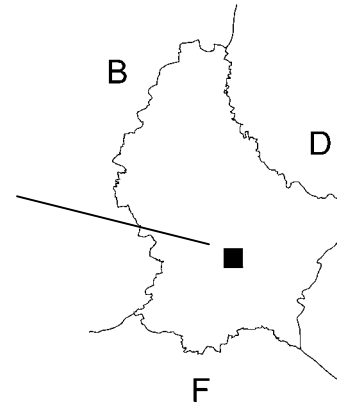
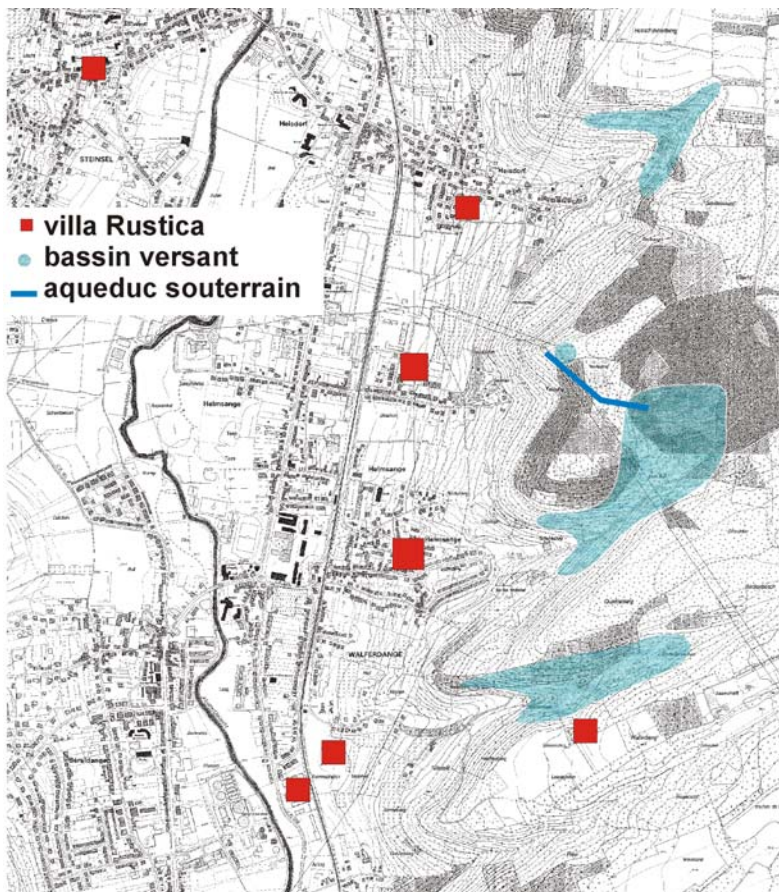


Fig.28 : carte topographique avec les villae romaines à Walferdange

Abb.28 : topographische Karte mit den römischen Villen in Walferdange

Bibliographie :

- Grewe K. 1985 Planung und Trassierung römischer Wasserleitungen, Frontinusgesellschaft
- Grewe K. 1998 Licht am Ende des Tunnels Verlag Philipp von Zabern
- Peters K, Reis O 1999 Méthodes de mesure et d'implantation des tunnels dans l'Antiquité
Mensuration, Photogrammétrie, Génie rural, 8/1999 pages 436 - 439
- Kohl N. Faber G. 1990 25 Jahre Raschpëtzer – Forschung, SIT Walferdange
- Kohl N., Waringo G. 1995 Raschpëtzer die Ausgrabungschronik der Jahre 91- 95, SIT Walferdange
- Kohl N. 1998 Die Raschpëtzer Saga, Ereignisse-Daten-Zahlen, SIT Walferdange 1998
- Kremer B. 1999 Wasserversorgung aus dem Tunnel. Der römische Qanat von Mehring
Funde und Ausgrabungen im Bezirk Trier, 31, 1999 pages 37 – 50
- Krier J. 2000 Romains et Francs à Helmsange
Festschrift 150 Joer Gemeng Walfer, Walferdange pages 334 - 337
- Schoellen A. 1997 Les surprenants ouvrages hydrauliques romains Archeologia No 332

Adresse des auteurs:

Pierre Kayser et Guy Waringo
 Professeurs- Ingénieurs à l' Institut Supérieur de Technologie
 6, rue Coudenhove-Kalergi L-1359 Luxembourg

alle Bilder, Pläne und Skizzen von den Autoren
 toutes les photos, croquis et plans par les auteurs

Editeur: ADMINISTRATION COMMUNALE WALFERDANGE
 Impression: ST. PAUL LUXEMBOURG – JUIN 2002