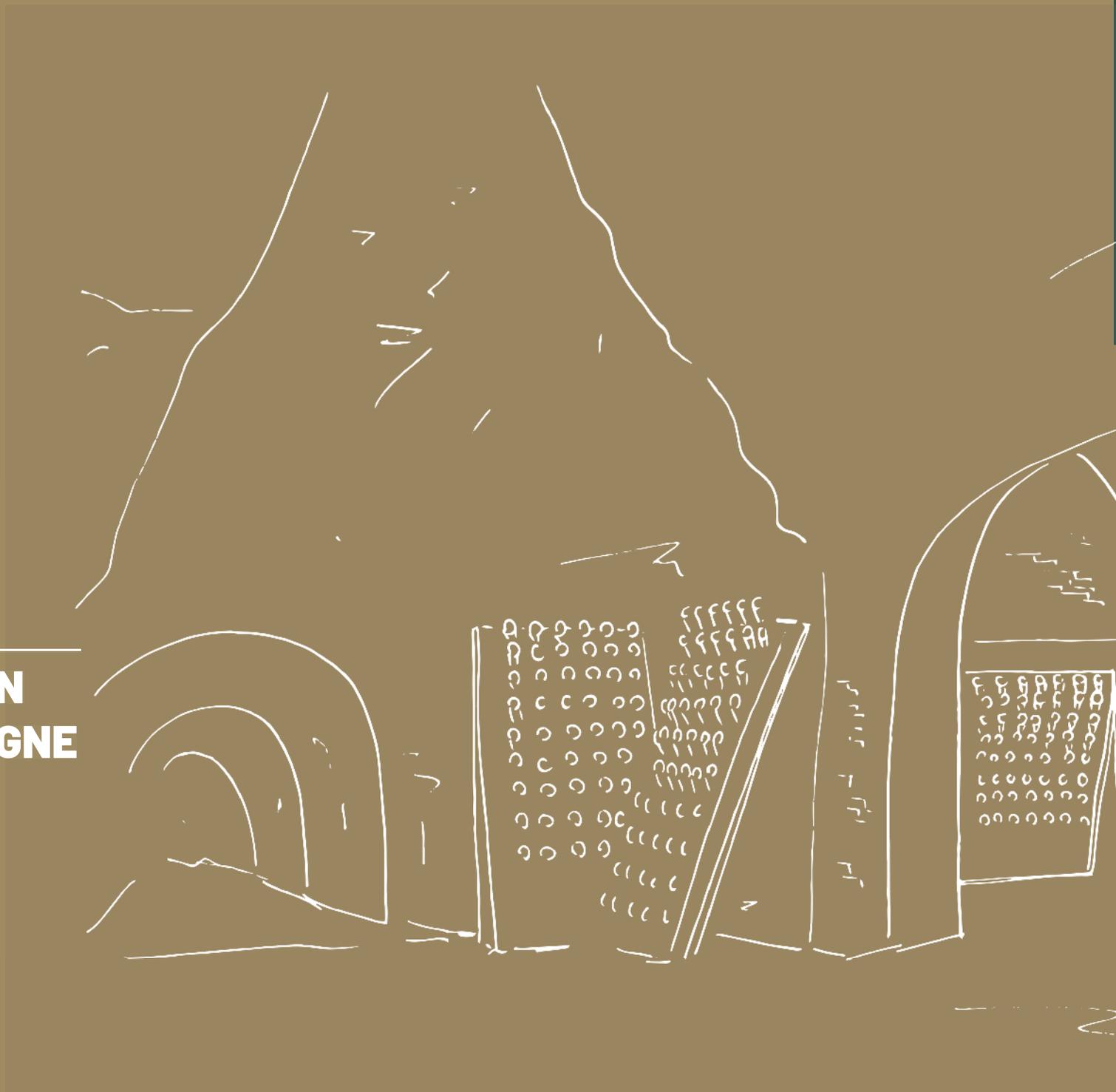


COLLECTION REPÈRES N°3

# GUIDE DE CONSERVATION DES CAVES DE CHAMPAGNE

Coteaux, Maisons  
et Caves de Champagne



Organisation  
des Nations Unies  
pour l'éducation,  
la science et la culture



Coteaux, Maisons  
et Caves de Champagne  
inscrits sur la Liste du  
patrimoine mondial en 2015



La conservation de nos caves, véritables joyaux inscrits sur la Liste du patrimoine mondial de l'UNESCO, demeure l'un des enjeux fondamentaux de la Mission afin d'en assurer la transmission aux générations futures.

Les caves sont un élément important de l'attractivité de la Champagne et nous devons trouver un équilibre entre le développement des activités et la demande touristique qui ne cesse de croître. Cela passe par la conservation indispensable et l'accessibilité de notre sous-sol.

Les Champenois ont remué manuellement plusieurs millions de tonnes de matériaux au cours des siècles derniers pour un volume supérieur à celui de la grande pyramide d'Égypte. De nos jours, il est plus facile de champagner sur un terrain à plat que dans le sous-sol. On risque ainsi de voir disparaître peu à peu notre patrimoine souterrain admiré par nos visiteurs du monde entier.

C'est pourquoi nous vous proposons ce guide technique qui :

- rassemble une information la plus objective possible sur nos caves afin de servir à la conservation comme aux projets futurs pour ce patrimoine dans le cadre de l'aménagement de nos territoires ;
- propose des mesures les plus justes possibles et les plus faciles à mettre en œuvre pour des actions préventives à la conservation des biens souterrains ;
- présente des méthodes d'évaluation d'une façon accessible aux vignerons et chefs de cave qui ne sont pas forcément géologues ou maçons, afin de pérenniser les ouvrages de nos aïeux à qui nous devons tant et en simplifiant la tâche de ceux qui les gèrent aujourd'hui.

Je remercie infiniment Philippe Tourtebatte, grand spécialiste des caves en Champagne et membre du Conseil scientifique de la Mission, d'avoir rassemblé ses connaissances et son expertise dans cet ouvrage et souhaite vivement que l'ensemble des acteurs champenois s'en empare pour faire passer sans encombre les siècles des siècles à cet héritage souterrain qui a fait le succès de notre vin de Champagne.

**Pierre-Emmanuel TAITTINGER**

Président de la Mission Coteaux, Maisons et Caves de Champagne



La Mission Coteaux, Maisons et Caves de Champagne est reconnue par l'UNESCO pour veiller à la préservation et au rayonnement de la Valeur Universelle Exceptionnelle du site inscrit sur la Liste du patrimoine mondial.

Le patrimoine souterrain lié à l'élaboration du Champagne est exceptionnel. Ainsi, caves et crayères revêtent un caractère historique et unique qu'il nous appartient collectivement de préserver afin d'en assurer la transmission aux générations futures.

L'objet de ce guide est de faire le point sur les connaissances actuelles sur ce patrimoine invisible et d'évaluer l'état de conservation des caves afin de faciliter la mise en œuvre de mesures conservatoires avec des outils simplifiés pour tous les professionnels champenois.

Pour être accessible à tous les intervenants et les gestionnaires qui œuvrent dans les caves de Champagne, et faciliter les investigations d'évaluation du comportement structurel des caves, trois chapitres sont proposés dans ce guide n° 3 de la collection Repères :

- le premier vise à la description des différents types de caves afin de comprendre leurs morphologies, **Comprendre et savoir (chapitre A)** ;
- le deuxième est consacré aux différents outils et moyens qui permettent une auto-évaluation de l'état des caves afin de prévoir des actions de confortations, **Prévoir pour agir (chapitre B)** ;
- le troisième concerne les mesures de protection, de conservation et de valorisation des ouvrages souterrains, il s'agit de **Protéger et valoriser (chapitre C)**.

## CHAPITRE A : COMPRENDRE ET SAVOIR ..... P.7

1. TYPOLOGIE DES CAVES DE CHAMPAGNE .....	P.8
1.1. Les carrières souterraines dans la craie, un exemple : les crayères de la colline Saint-Nicaise (Secondaire/Crétacé) ; une particularité unique : les crayères réutilisées par les Maisons de Champagne .....	P.8
1.2. Les caves spécifiquement creusées pour le Champagne dans la craie, un exemple : Epernay. Une particularité unique : un surcreusement du sous-sol par les Maisons de Champagne.....	P.22
1.3. Les caves dans les formations géologiques stratifiées du tertiaire, un exemple : les carrières de la vallée de la Marne .....	P.35
1.4. Les caves rurales et urbaines construites en maçonnerie pour le Champagne, les caves de l'habitat vigneron .....	P.40
1.5. Les caves médiévales en Champagne, un exemple : l'Aube.....	P.51

## CHAPITRE B : PRÉVOIR POUR AGIR ..... P.55

2. CONNAISSANCE DES OUTILS DE LOCALISATION, D'INVESTIGATION ET DE CONFORTATION .....	P.56
2.1. Savoir établir une cartographie historique.....	P.56
2.2 Localisation : principales techniques d'investigations géophysiques : Quelques méthodes indirectes .....	P.61
2.3 Localisation : principales techniques d'investigations géophysiques : Les méthodes directes .....	P.62
2.4. Tableau indicatif d'appréciation de l'efficacité et des coûts .....	P.65
3. DIAGNOSTIC ET ÉVALUATION DE L'ÉTAT DES CAVES .....	P.66
3.1. Les caves dans la craie.....	P.66
3.2. Pour les caves dans les carrières de calcaire stratifiés .....	P.72
3.3. Les caves maçonnées en milieu rural et urbain .....	P.72
3.4. Diagnostic de l'état des caves, de leur stabilité et du niveau de dégradation .....	P.73
3.5. Savoir établir une carte de l'état des ouvrages.....	P.74

## CHAPITRE C : PROTÉGER ET VALORISER ..... P.77

4. MAITRISE FONCIERE ET PROPRIETE DU SOUS-SOL RAPPEL DES PRINCIPAUX CAS .....	P.78
4.1. Droit de propriété du sous-sol (tréfonds) et délimitation .....	P.78
4.2. Dissociation du tréfonds (sous-sol) de la propriété du sol, location ou vente du tréfonds, responsabilités et conséquences.....	P.78

4.3 Acquisition par prescription du tréfonds .....	P.79
4.4 Droit d'usage, servitudes en cas d'enclave souterraine et accès .....	P.79
4.5 Arrêtés municipaux concernant les tréfonds sous la voirie dans les villes.....	P.80

## 5. ÉTAT RÉGLEMENTAIRE DES PROTECTIONS EN SURFACE ET APPLICATIONS AU SOUS-SOL ..... P.81

5.1. Le Code du patrimoine .....	P.81
5.2. Protection au titre de l'inscription par l'UNESCO .....	P.81
5.3. Protection au titre des Monuments historiques .....	P.82
5.4. Incidences au titre d'une Aire de mise en Valeur de l'Architecture et du Patrimoine .....	P.82
5.5. Exigences juridiques de l'inscription .....	P.83
5.6. Plan de Prévention des Risques naturels liés à la présence de cavités .....	P.83

## 6. MESURES DE CONFORTATION ET DE CONSERVATION ..... P.85

6.1. Action préventive : le suivi de l'état des caves ou suivi de l'état du bien .....	P.85
6.2. Techniques de confortation - Mesures passives : gestion des espaces de surface et souterrains .....	P.87
6.3. Mesures actives : confortation, soutien et reprise d'ouvrages en souterrain.....	P.94

## 7. MÉCANISMES DES DÉSDORDRES ET REMÈDES (FICHES TECHNIQUES) .. P.100

7.1. Caves en pleine craie .....	P.100
7.2 CAVES DANS LES CALCAIRES STRATIFIES DU LUTETIEN .....	P.107
7.3 CAVES CONSTRUITES EN MACONNERIE EN MILIEU RURAL ET URBAIN .....	P.110
7.4. LES CAVES CONSTRUITES EN BÉTON ARMÉ.....	P.113
7.5. ALTÉRATIONS BIOLOGIQUES DANS LES CAVES .....	P.116
7.6. UN FACTEUR AGRAVANT : L'EAU .....	P.124

## 8. LA CONSERVATION : ENTRE ESTHÉTIQUE ET VALORISATION..... P.130

8.1. L'esthétique .....	P.130
8.2 EXEMPLES DE VALORISATIONS .....	P.136

## PRINCIPES RÉGLEMENTAIRES DE SÉCURITÉ DANS LES CAVES POUR L'ACCUEIL DU PUBLIC..... P.140

## CONCLUSIONS LES DIX COMMANDEMENTS DU VIGNERON ET DU CHEF DE CAVE..... P.141

## INDEX LEXICAL : CHAPITRES/NUMÉROS D'ARTICLES..... P.142

## TABLE DES MATIÈRES ..... P.143

# CHAPITRE A

---

## Comprendre et savoir

# 1. TYPOLOGIE DES CAVES DE CHAMPAGNE

## UN PEU DE VOCABULAIRE...

### CRAYÈRE :

Le terme crayère est un dérivatif du microtoponyme croyère<sup>(1)</sup>, il est synonyme de carrière de craie, une crayère est composée d'essors (puits d'extraction), de galeries et de chavées (fronts de taille). Les croyes désignent au Moyen Âge tous les produits de la crayère et les croyers désignent les carriers<sup>(1)</sup>. Le terme médiéval croion ou croyon désigne un sol crayeux, il donnera par la suite le mot crayon<sup>(2)</sup>. Vitruve et Pline emploient le mot creta dans l'antiquité, qui sera ensuite traduit craye, en 1684 par Claude Perrault.

(1): P. Varin - Archives Administratives de la Ville de Reims de 1429 à 1536 - Ordonnances de 1607 et 1697.

(2): En 1309 - Paul Robert.

### A ÉVITER :

crayère pour dénommer un essor ; tête de crayère pour dénommer un départ d'essor... L'erreur la plus courante consiste à confondre la crayère avec l'essor et l'inverse.

### ESSOR :

dans le langage des croyers champenois (carriers exploitants la craie) ce terme désigne le puits d'extraction de la craie ou croyes.

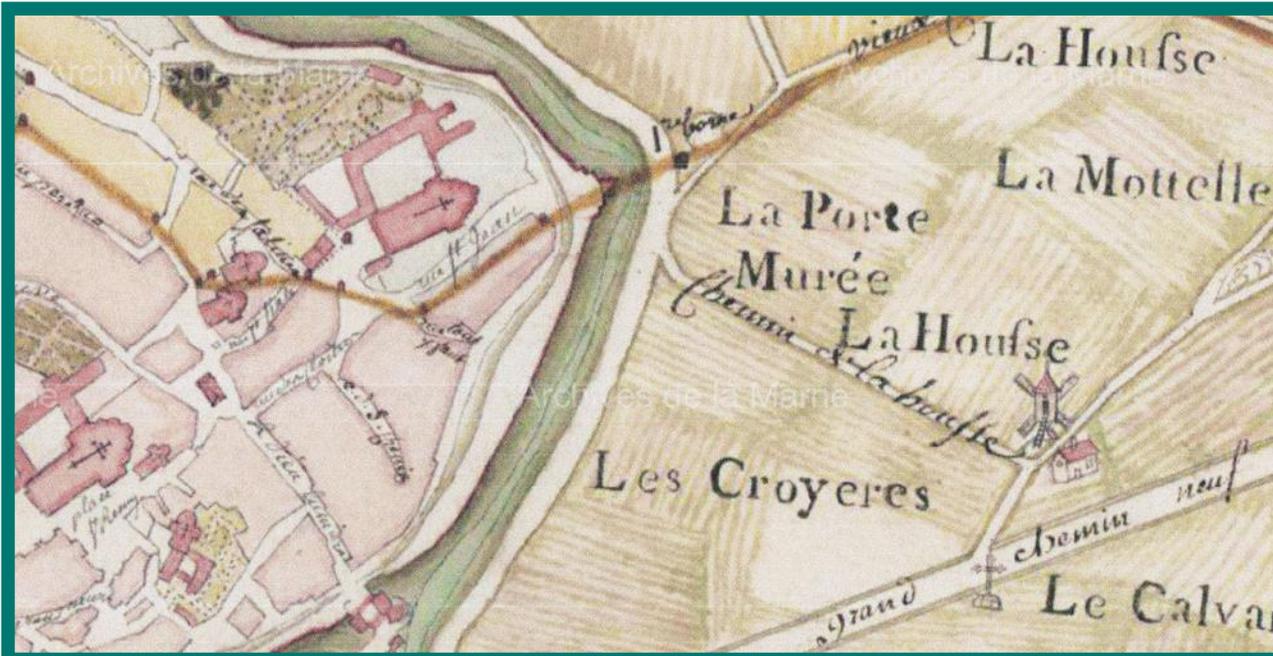
## 1.1. Les carrières souterraines dans la craie, un exemple : les crayères de la colline Saint-Nicaise (Secondaire/Crétacé) ; une particularité unique : les crayères réutilisées par les Maisons de Champagne

### 1.1.1 Résumé historique des crayères de la colline Saint-Nicaise

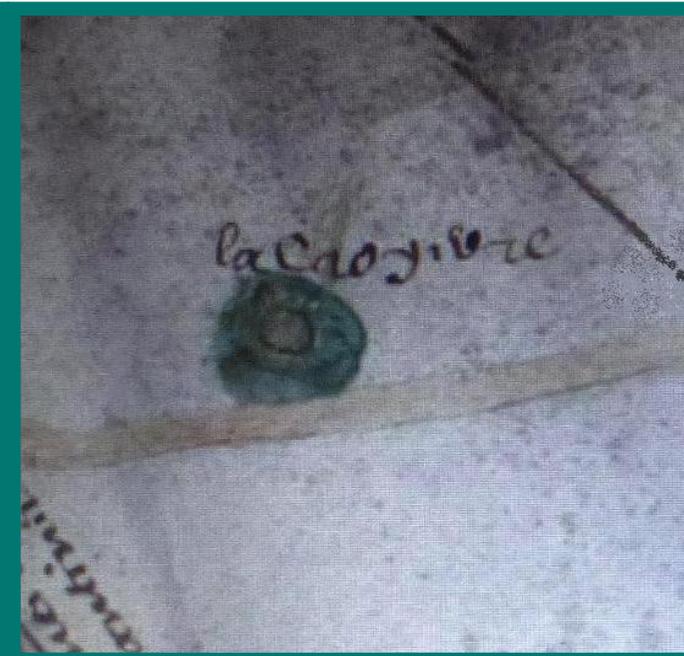
Une des principales caractéristiques archéologiques de la ville de Reims est d'avoir actuellement dans son sous-sol plus de 1 000 puits d'extraction de la craie dénommés « essors », qui ont une profondeur de 10 à 50 mètres et se trouvent principalement dans la partie est de la ville, sous la colline Saint-Nicaise appelée « butte » par les Rémois. Les ensembles d'essors appelés crayères constituent aujourd'hui la part prépondérante du patrimoine industriel de la cité. Le sous-sol sous la colline Saint-Nicaise a été sur-creusé au cours des siècles : ce sont plus de 2 000 essors, sur une surface de 100 hectares qui seront recensés au début du XX<sup>e</sup> siècle (E. KALAS, Bull. Société des amis du vieux Reims - 1925/1926 Matot Braine). Le volume de craie extrait du sous-sol rémois atteint plus d'un million de m<sup>3</sup> !

La colline Saint-Nicaise est couverte de nécropoles antiques et médiévales qui jouxtent les nombreux édifices religieux présents sur le site. Les secteurs Saint-Remi et Saint-Nicaise correspondent à des véritables quartiers funéraires au sud de la ville. Disposées de part et d'autre de la « via Caesarea », ces nécropoles se développent dès l'Antiquité.

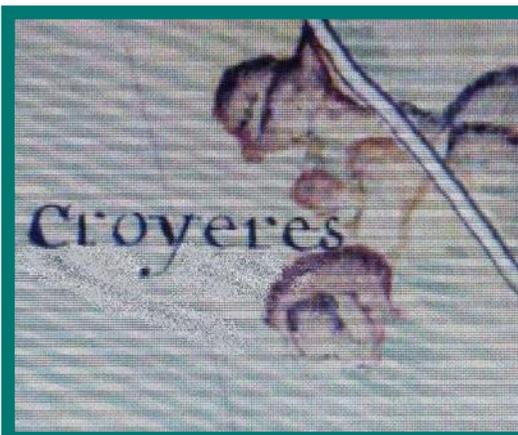
L'organisation rationnelle basée sur des techniques typiques d'extraction propre à la roche crayeuse a peu varié au cours des siècles. Des blocs de craie furent utilisés dès l'époque romaine pour la construction des caves du bâti urbain. Cette craie pouvait provenir de carrières souterraines ou de l'extraction pendant le creusement des fossés antiques.



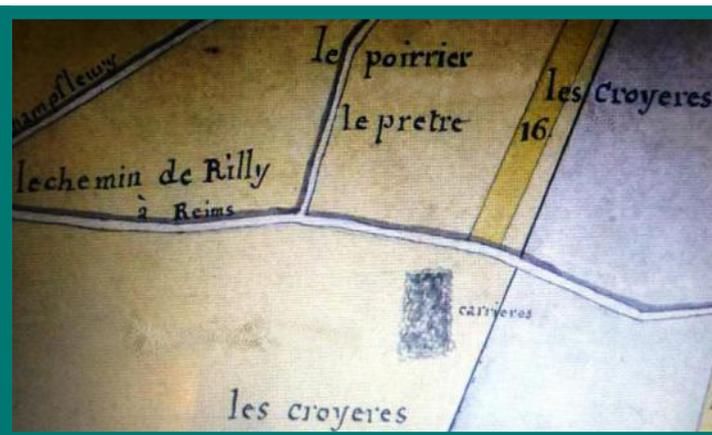
A1 Extrait du plan « de la seigneurie du ban saint Remy... Les Croyeres » - Reims 1772 - ADM/CP



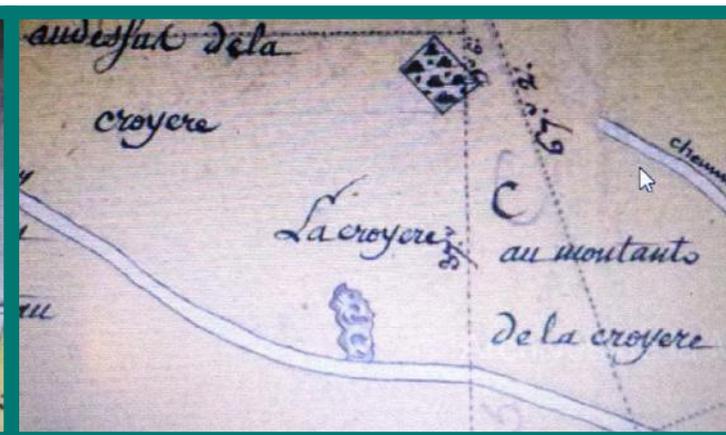
A2 Extrait du plan/Terroir de Fresne-les-Reims 1661 ADM/FI  
(Il s'agit d'une des plus anciennes représentations d'un essor)



A3 Extrait terroir du plan/Terroir de Pomacle 1781 - ADM/FI



A3B Extrait du plan/Terroir de Champfleury 1781 - ADM



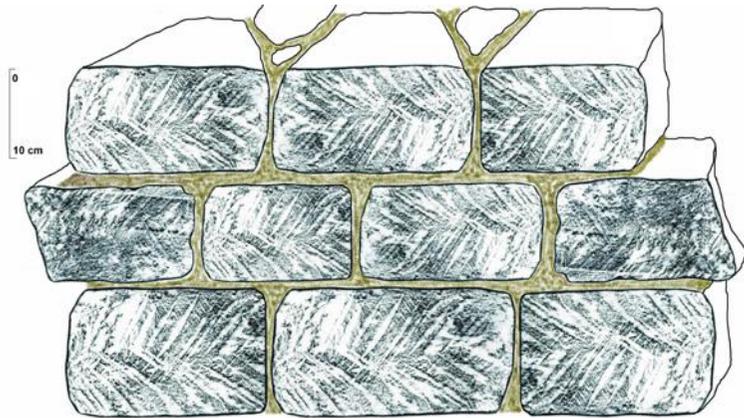
A4 Extrait du plan terroir d'Allincourt 1789 - ADM/FI

## • LES CAVES GALLO-ROMAINES MACONNEES EN CRAIE A REIMS ET A TROYES

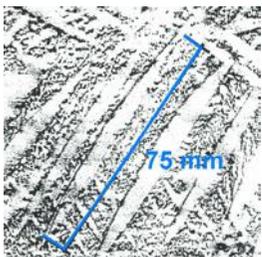
La majorité des caves gallo-romaines mises à jour au cours des fouilles archéologiques urbaines (Reims: fouilles du tracé tramway 2008 ; Troyes: site des halles - 1987), sont de plan quadrangulaire (A13). Les murs sont maçonnés avec des appareils constitués de petits blocs de craie ou des moellons bien équarris et hourdés en assises horizontales régulières pour constituer un opus vitatum (A5). Il est admis que ce type de construction ne se généralise pas avant l'époque augustéenne (J.P. Adam - Edition Picard). On observe parfois des assises d'arasement en brique de terre cuite qui forment des chaînages horizontaux placés à mi-hauteur ou au niveau des appuis du couverture. Certains parements des moellons présentent des séries d'incisions géométriques en forme de fougère ou en chevron (A5 à A8 - Reims: site du conservatoire - 1996), réalisées avec un outil à double tranchant, la polka, ou à simple tranchant, l'ascia, connus dans l'antiquité (A10-A11). Ce type de parement est visible dans les thermes du musée de Cluny.

On remarque également des traces de scies dues à une lame avoyée (A12). Le sciage de la craie s'effectue sur des blocs secs qui ont rejeté leurs eaux de carrière (Impossibilité de sciage dans le cas contraire), ce qui implique un séchage préalable du matériau avec une mise en abri hors gel.

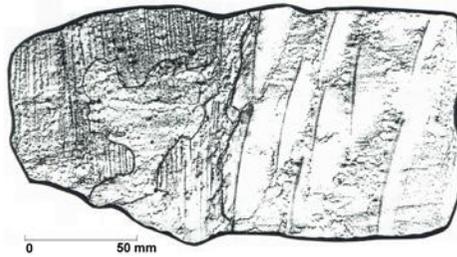
La craie utilisée pour la confection des moellons est homogène, sonore sans fracturation. Un rostre de bélemnite, *Belemnitella mucronata* (A9), découvert dans un bloc à Reims (Site du conservatoire - INRAP - A. Balmelle - 1996) nous indique une craie compacte d'origine semi profonde, 8 à moins 10 mètres sous la surface, issue des formations du campagnien non gélifractées. Le mortier de hourdage pauvre en liant (chaux aérienne ou terre argileuse) est souvent composé de graveluches et de sable. Un blocage en pierre brute vient remplir l'espace entre le parement et le terre-plein ou la craie en place (A15).



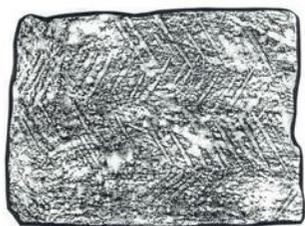
A5 PHT



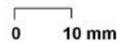
A6 PHT



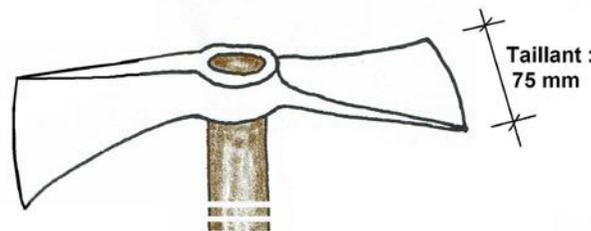
A7 PHT



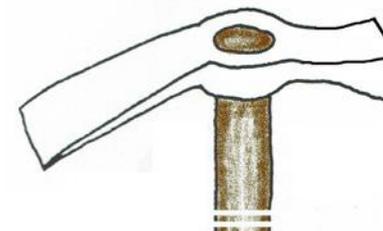
A8 PHT



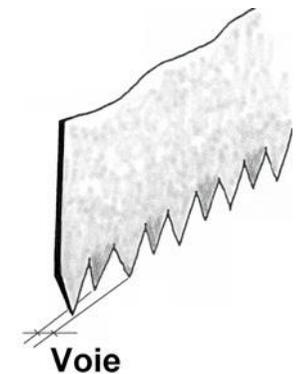
A9 PHT



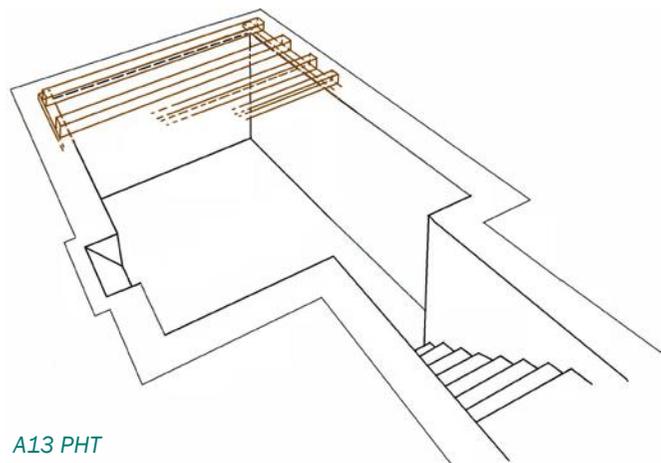
A10 PHT



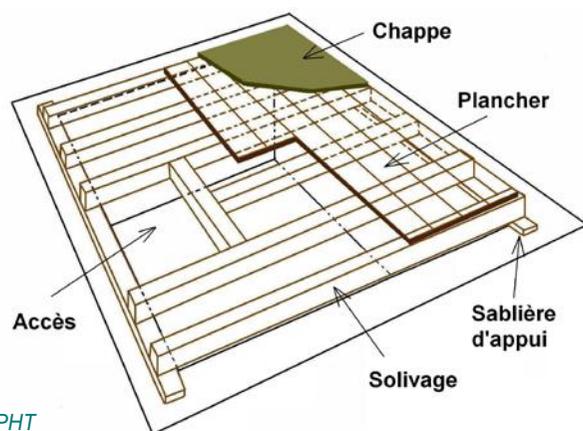
A11 PHT



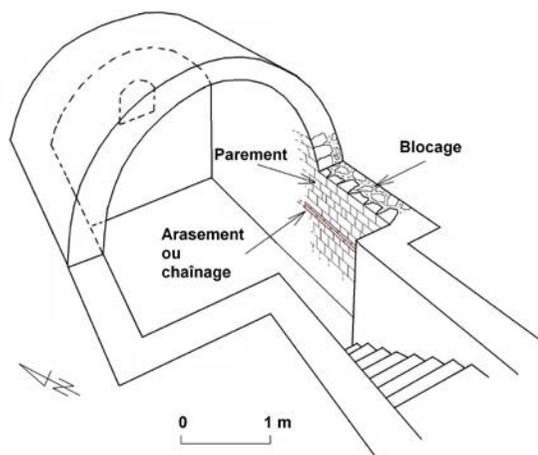
A12 PHT



A13 PHT



A14 PHT

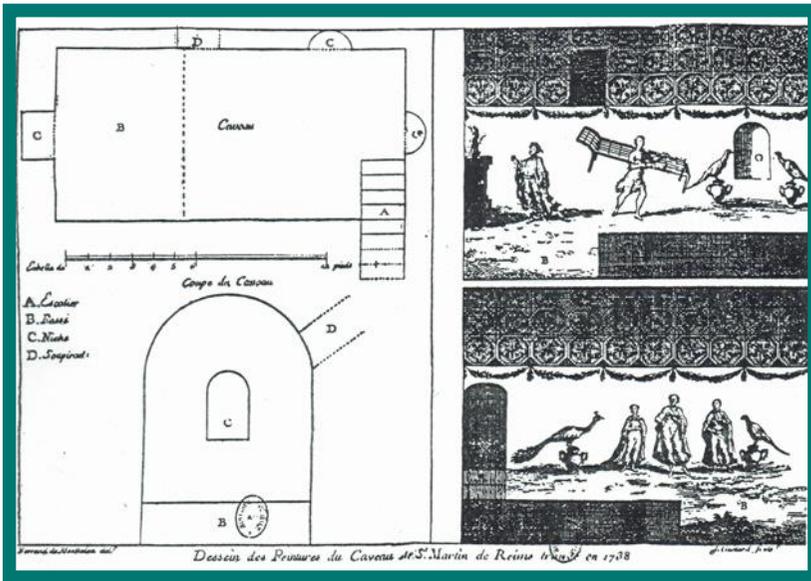


Certaines caves ont été rejointoyées avec un mortier adjuvanté de terre-cuite pilée afin de protéger les joints de l'humidité (propriétés hydrauliques). Des traces de badigeon de chaux sont observables sur des blocs. Le sol de la cave est en craie ou en terre battue et parfois muni d'un plancher.

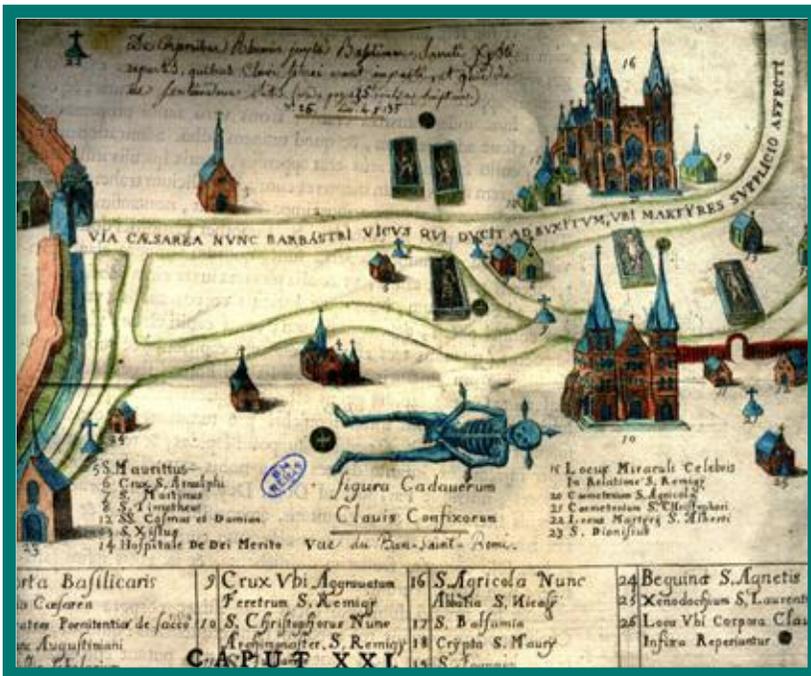
Le couvrement était constitué soit par une voûte de plein cintre en maçonnerie (A15) soit par un plancher (A14). L'accès s'effectuait par un escalier interne ou externe, ou bien par une trappe à partir de l'habitat (A14-A15), des soupiraux permettaient une aération et des niches d'usages sont réparties au centre des parois.



A16 PHT - Petite cave médiévale rectangulaire abandonnée - Aube



A17 Hypogée Saint-Martin relevé en 1738 - AMR

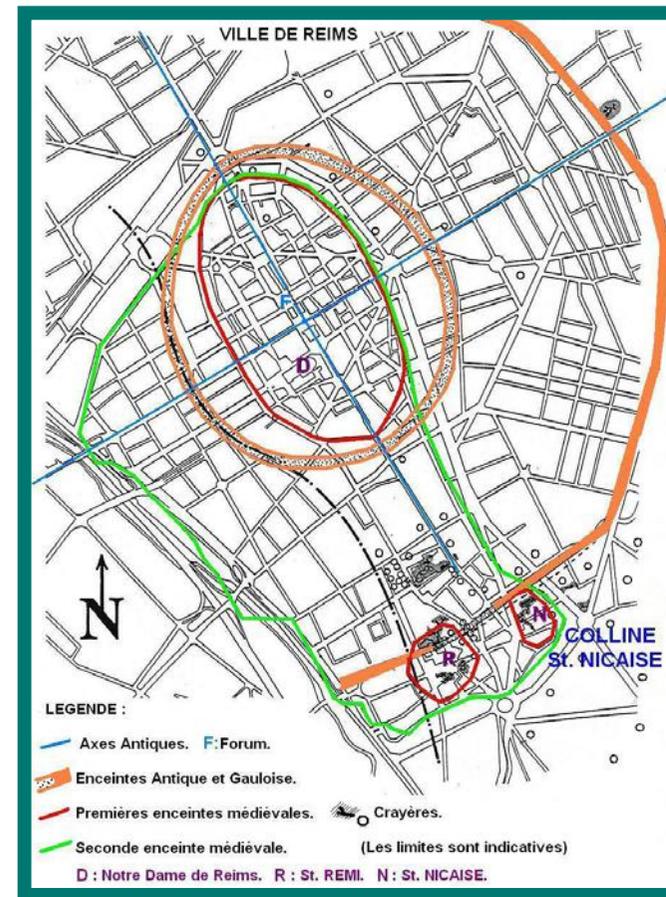


A17Bis Gravure de la « via Caesarea » et à droite Saint-Nicaise et Saint-Remi - AMR/FI

Le cas particulier des pièces souterraines enduites avec un décor simple, linéaire ou figuratif, se rattache à une utilisation culturelle des ouvrages, tel que le caveau Saint-Martin découvert en 1738 à Reims (A17), ou celui du site du lycée Roosevelt (Fouilles INRAP - Mélanie Lefils - 2006). Les dimensions de ces édifices sont cependant semblables à celles des caves.

Afin de mieux comprendre l'origine des crayères, il est nécessaire de se rappeler l'aspect transitoire du plan de la ville de Reims de la période du bas empire jusqu'au Moyen Âge : la ville était écartelée entre le centre d'origine gauloise, entouré de son enceinte ovale, et à l'Est avec les futurs quartiers Saint-Remi et Saint-Nicaise en plein essor d'autonomie propre.

Il est possible de proposer une période de datation des crayères allant du III<sup>e</sup> au XIX<sup>e</sup> siècle. La chronologie de datation est large mais rappelons que l'ampleur du phénomène couvre plus de 100 hectares !



A17Ter Plan historique de la ville de Reims (Résumé) avec les crayères - PHT

## RÉFÉRENCES

SITE : ABBAYE SAINT-REMI À REIMS (51). JARDIN CENTRAL DU CLOÎTRE.

RESUMÉ/PÉRIODE(S) : la fouille du jardin avant son aménagement a mis à jour des strates d'occupation (voirie/habitat) datant du III<sup>e</sup> siècle (monnaie). Les horizons se sont affaissés suite au décapage et aux pluies en découvrant un départ d'essor sous-jacent qui a été déblayé sur une profondeur de +/- 5m.

Datation/Essor : avant ou au début du III<sup>e</sup> siècle

REF. /DOSSIER DE FOUILLE :

DRAC - GEACA - Bulletin 1988 - Saint-Remi.

INTERVENANT(S) : Michel Arduin - Marc Bouxin

SITE : ÉGLISE SAINT -JULIEN À REIMS (51).

Transept de l'église, pilier nord de l'arc triomphal.

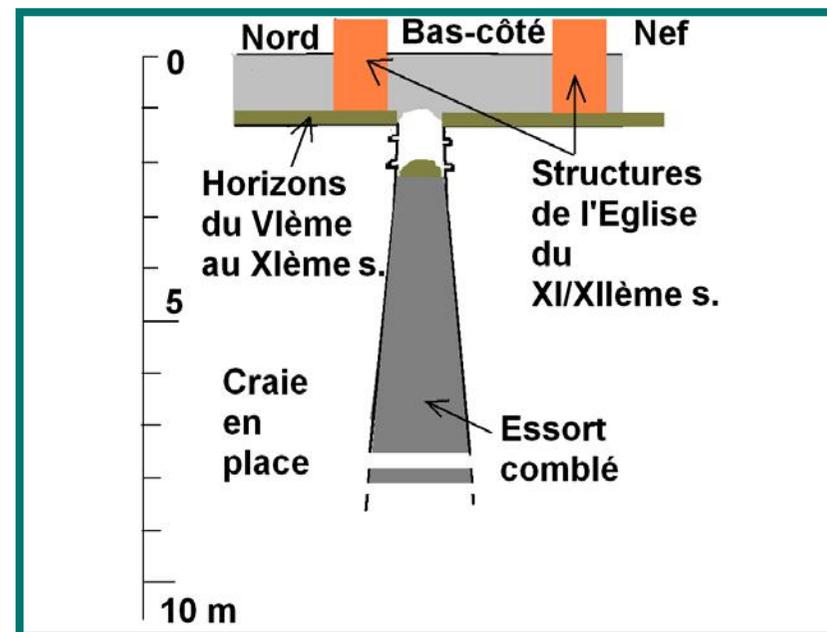
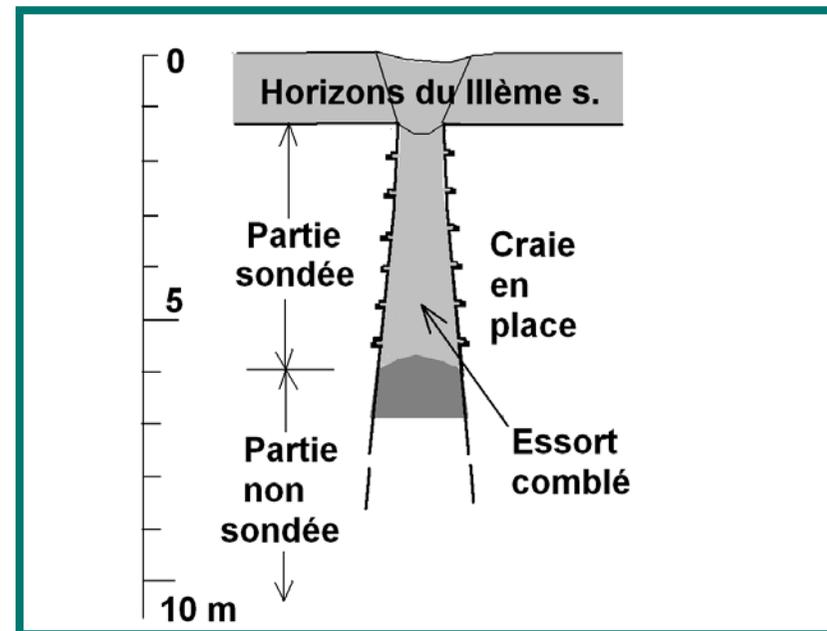
RESUMÉ/PÉRIODE(S) : une fuite d'évacuation d'eau a produit l'affaissement du terrain avec une sépulture du XI<sup>e</sup> siècle située sur un départ d'essor à l'aplomb du pilier nord de l'arc triomphal. Déblais par puits foncé à la main pour reprise en sous-œuvre. La partie supérieure de l'essor a été remaniée afin de poser les fondations du pilier de l'église. Datation/Essor : VI<sup>e</sup> au XI<sup>e</sup> siècle.

REF. /DOSSIER DE FOUILLE :

SRA /00/195 - Diagnostic - 02/2000

INTERVENANT(S) : Philippe Tourtebatte - F.Berthelot

## COUPE DE SYNTHÈSE (Suivant rapport de fouille)



## RÉFÉRENCES

SITE : ÉGLISE SAINT-JULIEN À REIMS (51).

Nef et bas-côté de l'église - Chevet.

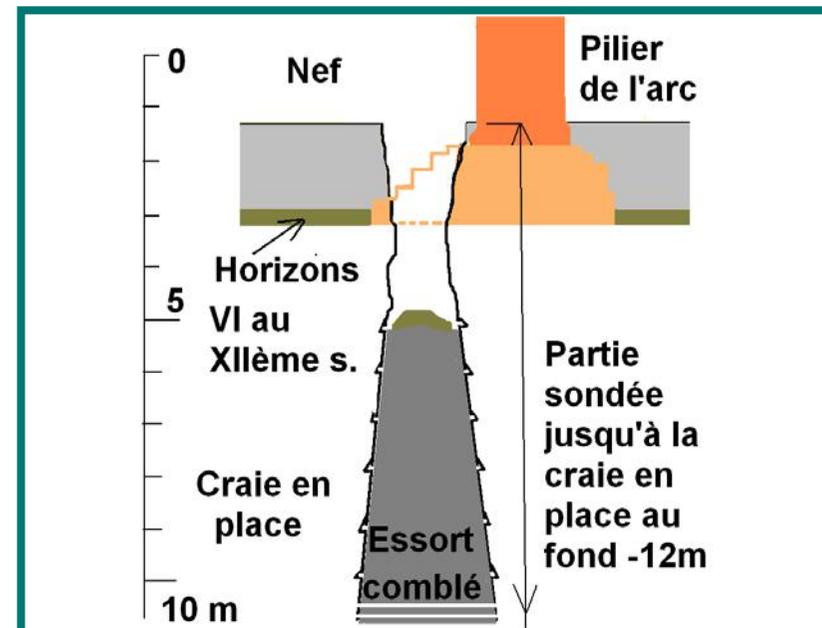
RESUMÉ/PÉRIODE(S) : la fouille d'urgence a permis d'observer un départ d'essor comblé situé à l'aplomb du mur gouttereau du bas-côté nord de l'église du XI/XII<sup>e</sup> siècle. Les strates sus-jacentes sont datées du VI au XI<sup>e</sup> siècle. L'église Saint-Julien semble avoir été fondée vers 530 et reconstruite au XII<sup>e</sup> siècle (P.Demouy), les structures de la nef romane subsisteront jusqu'en 1912. Datation/Essor : VI<sup>e</sup> au XI<sup>e</sup> siècle.

REF. /DOSSIER DE FOUILLE :

SRA/(AFAN) - Site N° 51 454 128 - 12/1997

INTERVENANT(S) : Walter Berry - François Berthelot

## COUPE DE SYNTHÈSE (Suivant rapport de fouille)



SITE : RUES GOÏOT ET D'AY À REIMS (51).

Cadastre section CZ parcelle N° 675.

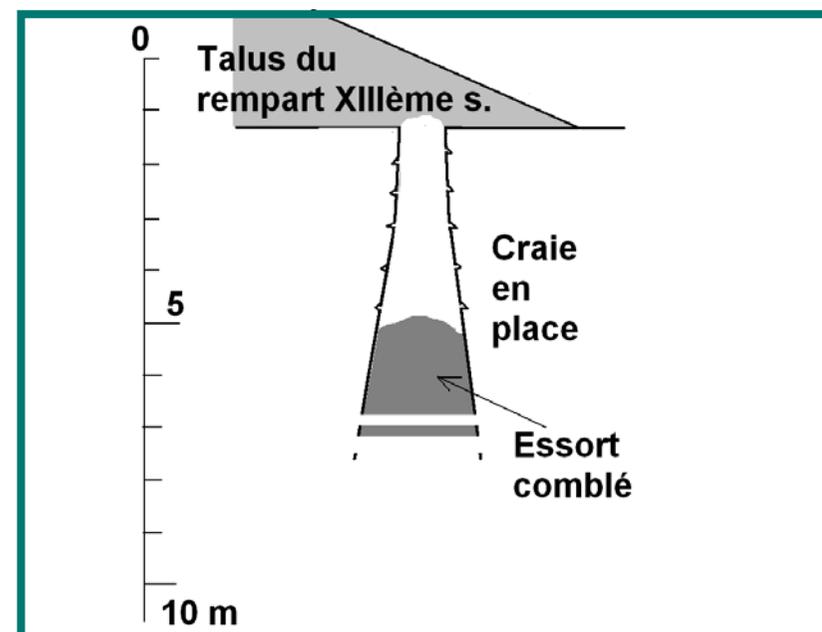
RESUMÉ/PÉRIODE(S) : le diagnostic archéologique a permis d'observer un départ d'essor situé sous le talus du rempart médiéval du XIII/XIV<sup>e</sup> siècle.

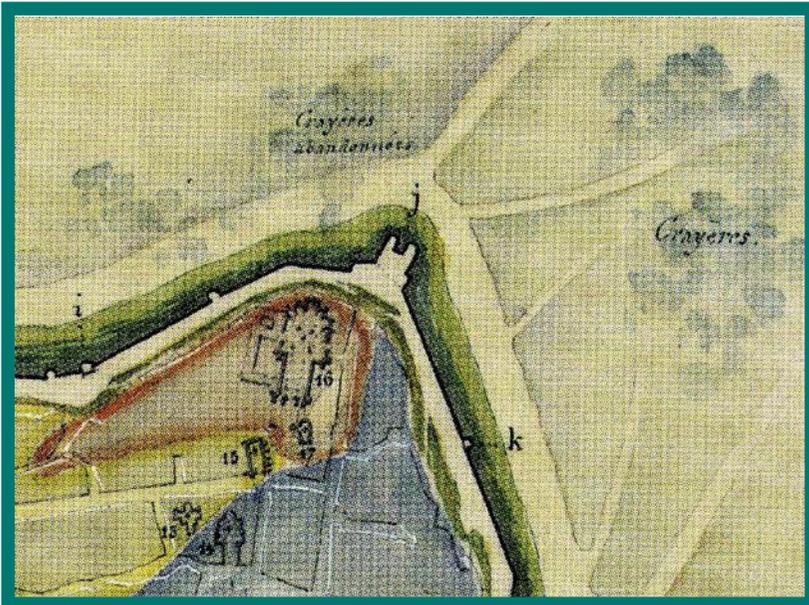
Datation/Essor : avant ou pendant le XIII<sup>e</sup> siècle.

REF. /DOSSIER DE FOUILLE :

SRA/SA Reims Métropole - D1528 - 12/2015.

INTERVENANT(S) : Claire Pichard





A19 Plan Macquart de 1850. AMR



A20 Plan Coutans de 1775. AMR

La situation des carrières, situées sous les nécropoles, a abouti à des datations hâtives sur le plan archéologique, du fait de l'existence de vestiges antiques dans les remblais des cavités. Cette situation a également entretenu l'idée admise qu'il existait des « catacombes » romaines où se réfugièrent les premiers chrétiens. Cependant, les persécutions antiques des premiers chrétiens ne semblent pas avoir été plus violentes à Reims, où la succession épiscopale restait assurée (CHANOINE J. LEFLON, Histoire de l'église de Reims – Imp. Du Nord Est 1942, p.119.). Les prétendus martyrs rémois exhumés au XVII<sup>e</sup> siècle avaient, selon leurs découvreurs, les tempes percées de deux grands clous, de part en part, au milieu du front.

Les progrès scientifiques de l'archéologie nous expliquent l'origine de ces énormes clous dans les sépultures: tandis que les riches se faisaient enterrer dans des sarcophages de pierre ou de plomb, les classes modestes se contentaient de cercueils en bois. Les planches, très massives et grossièrement équarries, étaient assemblées à angle droit par des clous. Les couvercles étaient ainsi cloués et n'offraient pas trace de charnières. Le bois a pourri, les terres se sont tassées, enfonçant les clous dans les orbites et les crânes, qui se sont fixés grâce à la destruction de la substance osseuse opérée sous l'influence des oxydes. Ils se sont ainsi attachés, par la rouille, aux os des membres et ont fait corps avec eux de manière à donner l'illusion d'os transpercés. Il faut signaler qu'à ce jour, mise à part la découverte au siècle dernier et au XVII<sup>e</sup> siècle de caveaux funéraires spécifiques, nous n'avons pas encore identifié la présence de tombeaux ou de chapelle à l'intérieur des crayères recensées.



A21 Vue de Reims par C. Chastillon vers 1590 - AMR

## LA PROBLÉMATIQUE DE LA DATATION

La difficulté majeure pour la datation des essors et des crayères vient du fait que chaque carrier efface les traces du précédent exploitant en agrandissant les cavités pour extraire plus de craie.

Les essors à double sorties sont particulièrement intéressants pour une datation car ils révèlent l'existence d'un système d'exploitation plus ancien. L'analyse des strates qui occultent les départs d'essor reste la technique la plus efficace pour une datation, les graffitis ne concernent qu'une période chronologique d'occupation qui ne correspond pas systématiquement à la période d'extraction. La composition des remblais n'est pas fiable car on peut remplir un essor à n'importe quel moment avec des substrats plus anciens, sauf lorsqu'il existe, par exemple, une partie d'une sépulture en place en surface et l'autre partie dans le comblement dû à un effondrement.

## QUELQUES CONSTANTES TYPOLOGIQUES POUR LES ESSORS DU III<sup>e</sup> AU XIII<sup>e</sup> SIÈCLE :

- ils sont de plan quadrangulaire étroit ;
- ils disposent tous d'un système d'accès direct par encoches et barreaux (trous de boulines) ;
- ils se trouvent toujours à proximité de sépultures antiques ou médiévales ;
- ils sont majoritairement comblés ;
- leurs dimensions ne permettent pas la sortie de gros blocs de craie.

A partir du X<sup>e</sup> siècle, le seul espace d'extension possible pour les gens pauvres, les artisans et les ordres religieux non établis, se trouve entre ces deux pôles, Nord-Sud, d'influence épiscopale.

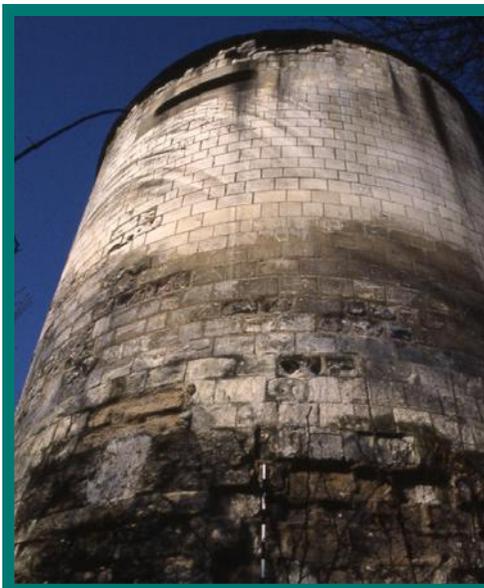
Les collectivités qui désirent s'implanter à cette époque en dehors des fortifications initiales doivent assurer elles-mêmes leur défense, la protection ou dissimulation de leurs biens à une période d'expansion économique.

Ces communautés principalement religieuses et artisanales, très liées aux métiers du textile et du bâtiment, peuvent utiliser les carrières préexistantes comme moyen d'abri, de cache ou de défense passive.

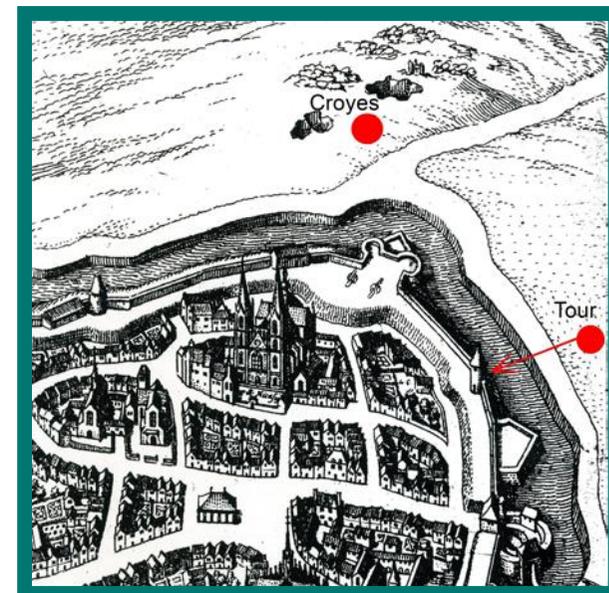
L'antique «via Caesarea» qui relie les quartiers Saint-Remi et Saint-Nicaise à la cité bénéficie d'une situation propice à l'urbanisation dès la fin de la période d'insécurité.

Son peuplement systématique fut entrepris dans le dernier tiers du XI<sup>e</sup> siècle, pour donner naissance au quartier du Barbâtre. (P. DESPORTES – Reims et les rémois aux XII<sup>e</sup> et XVI<sup>e</sup> siècles. PICARD-PARIS 1979, p.65.).

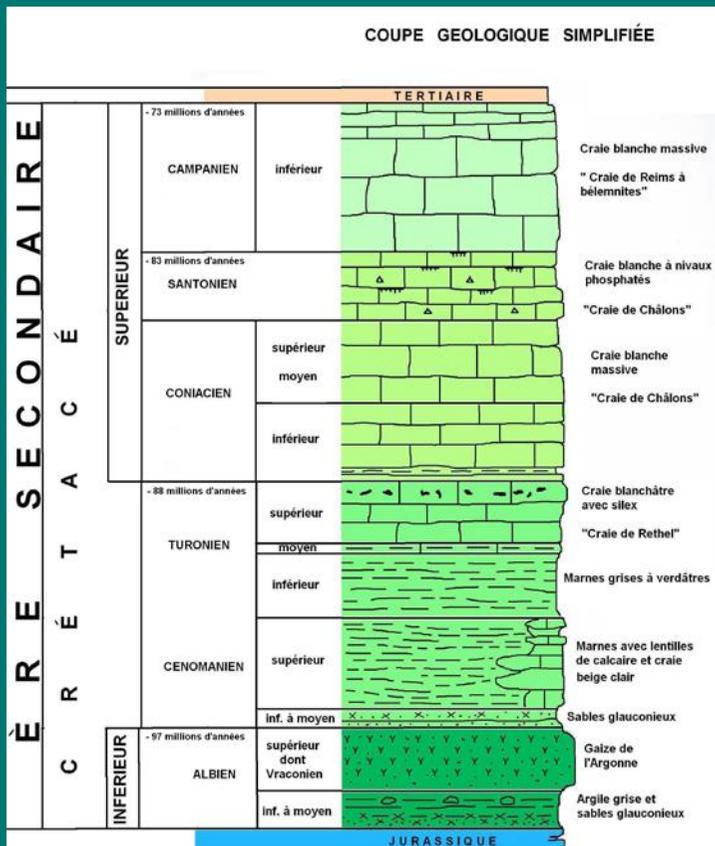
Au Moyen Âge, la majeure partie du rempart médiéval rémois, ayant nécessité plus de 300 000 m<sup>3</sup> de matériaux, est constitué par des blocs de craie nommés. Seule la base est en meulière. Il subsiste un vestige du rempart médiéval qui se trouve en haut du square Saint-Nicaise : la tour du puits.



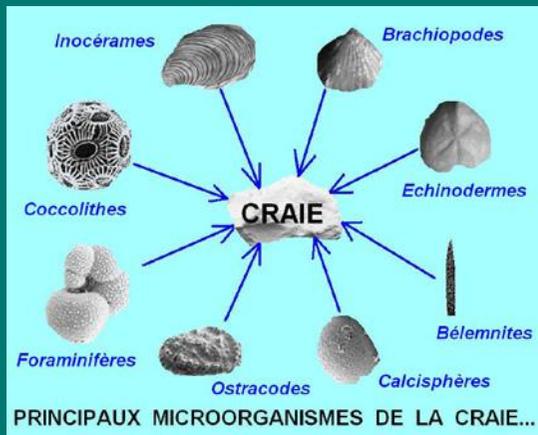
A22 La tour du puits - PHT.



A22Bis Extrait du plan MERIAN de 1645 : situation de la tour du puits et des crayères Est - AMR



A23 Coupe géologique simplifiée - PHT



Le bâti urbain sera en majorité construit avec des carreaux de craie issus du sous-sol immédiat. La chaux demeure le liant primordial utilisé dans le bâtiment avant l'invention du ciment de Portland, vers 1825, et sa généralisation, vers 1860. Rappelons que la chaux s'obtient par calcination de la craie. Ce liant est utilisé depuis plus de 2 000 ans dans nos contrées pour la confection des mortiers et des peintures.

La craie des maçonneries est souvent invisible car elle doit être protégée par un enduit de mortier de chaux. Les industries textiles, omniprésentes jusqu'au début du XX<sup>e</sup> siècle, furent également de grosses consommatrices de chaux vives pour leurs différents traitements, ainsi que les tanneries.

Les sites du quartier Saint-Remi, le bas de la colline Saint-Nicaise ont été concernés par une surexploitation de la fin de la période romaine jusqu'au XVII<sup>e</sup> siècle. Le sommet de la butte a, quant à lui, été occupé par les carrières de la fin du Moyen Âge jusqu'au début du XX<sup>e</sup> siècle.

Les espaces entre les deux abbayes (Saint-Nicaise et Saint-Remi) ont, quant à eux, été certainement exploités dès le haut Moyen Âge en considérant la forte implantation dans ces secteurs des édifices religieux les plus anciens de la ville.

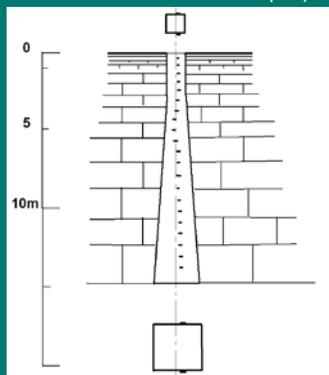
### 1.1.2 Typologie et système d'exploitation

La craie (crêta en latin) est une roche sédimentaire d'origine marine formée il y a 60 à 80 millions d'années par une accumulation de coquilles et de micro-organismes marins. Ces micro-organismes calcaires vivaient dans une mer de faible profondeur (50 à 100 m), avec des oursins, des huîtres et des bélemnites (céphalopodes fossiles voisins du calamar). La mer s'est ensuite retirée et cette boue calcaire s'est solidifiée pour constituer la craie qui a donné son nom à une période géologique : le Crétacé.

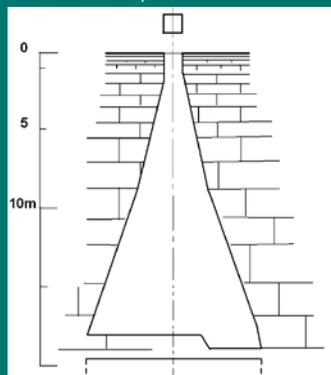
Les crayères de la colline Saint-Nicaise se développent dans une formation géologique spécifique dénommée « craie de Reims à bélemnites ». Cette craie, exempte de silex sauf à la base, atteint une épaisseur moyenne de 30 à 80 m sous la colline.

Les crayères sont creusées dans la zone inférieure du campanien, particulièrement favorable par sa texture fine et homogène à l'extraction de blocs de craie. La situation en profondeur des réseaux exploités semble toujours suivre l'aspect général de la topographie de ce quartier de la ville. La profondeur moyenne des carrières se situe de moins 12 mètres à moins 40 mètres par rapport au niveau actuel de la surface.

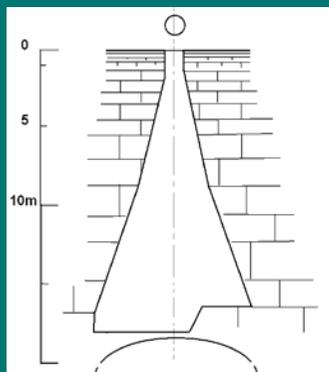
A25 TYPOLOGIE DES ESSORS - PROFILS PRINCIPAUX (Datations non exhaustives – Vues en coupes/Philippe Tourtebatte)



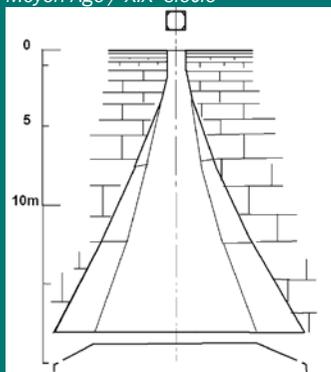
Essor quadrangulaire étroit  
Gallo-romain / Haut Moyen Âge



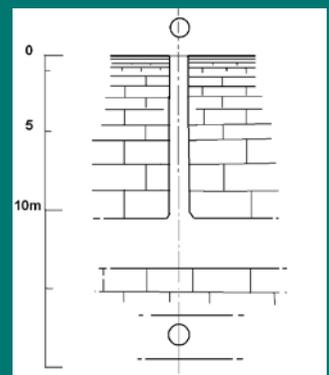
Essor quadrangulaire large  
Gallo-romain ?/ Haut Moyen Âge et  
Moyen Âge / XIX<sup>e</sup> siècle



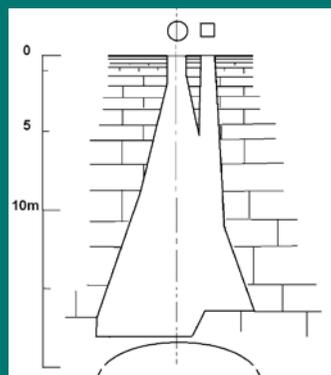
Essor circulaire  
Gallo-romain ?/ Haut Moyen Âge et  
Moyen Âge / XIX<sup>e</sup> siècle



Essor de plan polygonal  
Moyen Âge / XIX<sup>e</sup> siècle



Essor droit sur galerie  
Toutes les époques



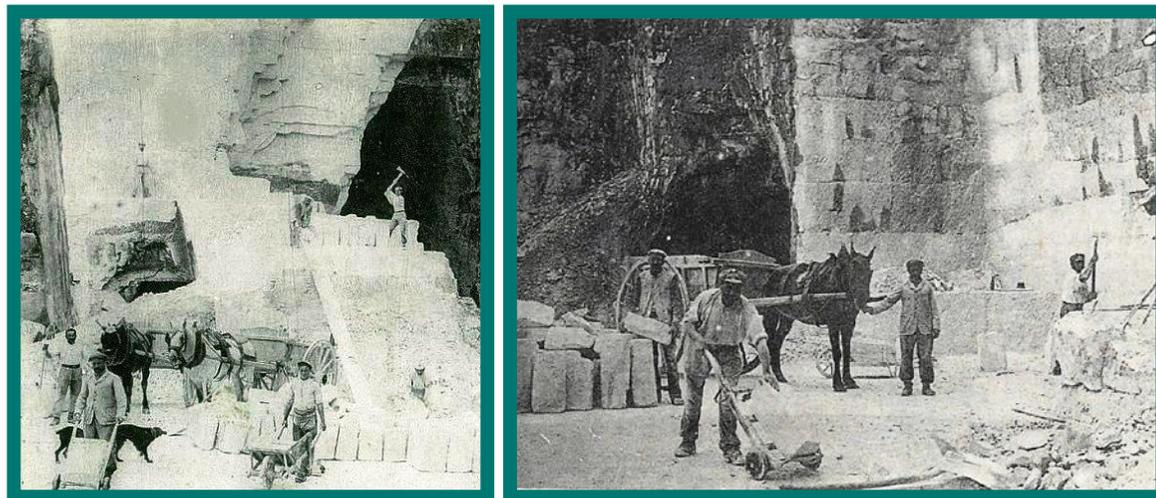
Essor à sorties multiples  
Toutes les époques

Les techniques employées pour l'extraction de la craie en souterrain n'ont pas varié au cours des siècles.

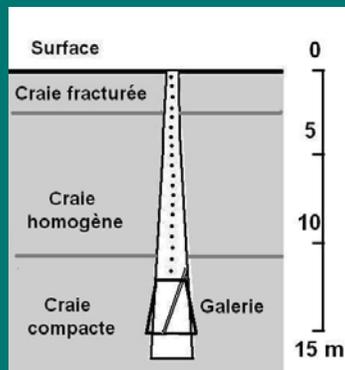
Le carrier commence à creuser un essor, puits de forme carrée ou circulaire d'une section d'environ 1 m. Cet orifice est creusé jusqu'à la rencontre de la craie compacte, pour ensuite s'évaser sur tout son pourtour. Ce profil est justifié par le besoin d'une craie à bâtir de plus en plus homogène au fur et à mesure que l'on extrait en profondeur.

Cette architecture souterraine va se constituer par les besoins en matériaux de la ville en expansion intimement liée à la trame urbaine de surface des deux pôles que forment l'abbaye Saint-Remi et l'abbaye Saint-Nicaise. Une rupture dans cette continuité apparaîtra au XX<sup>e</sup> siècle avec l'apport de matériaux produits à l'échelle nationale pour la reconstruction. Les Maisons de Champagne pourront ainsi utiliser ce patrimoine en cours d'abandon.

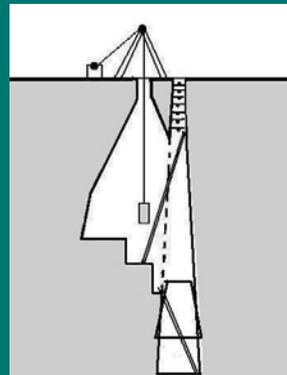
Arrivés à la limite de l'aquifère, les carriers ouvrent ensuite des galeries d'exploitation, des couloirs et des puits de communication vers la surface suivant le système d'exploitation retenu. Le profil des galeries demeure conditionné par la résistance de la roche en place: les profils les plus fréquents, en forme de trapèze ou ovale, permettent un soutien de la roche. L'éclairage est naturel dans les essors de grandes dimensions. Des lampes à huile étaient utilisées au Moyen Âge pour être ensuite remplacées par l'électricité au XX<sup>e</sup> siècle. Les galeries portent souvent des monogrammes gravés aux parois qui permettaient d'identifier le secteur d'extraction des matériaux.



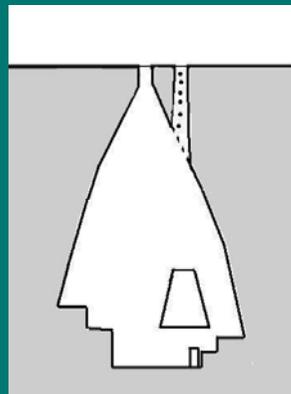
A26 et A27 Carrières de Cheppy (51) dernières exploitations de la craie à bâtir jusqu'en 1981 - ADM/FI



A1

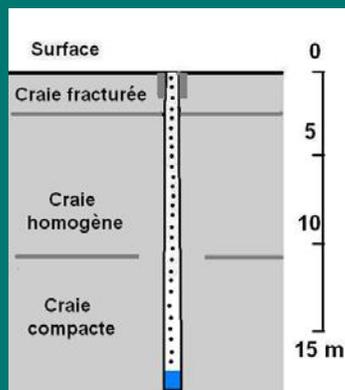


A2

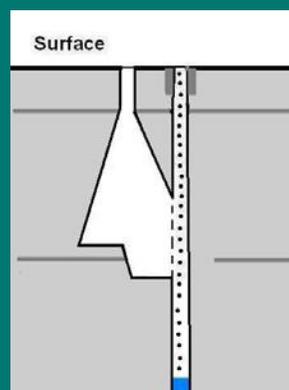


A3

FORMATION DES ESSORS  
A SORTIES MULTIPLES -  
A: essor préexistant -  
B: puits à eau préexistant



B1

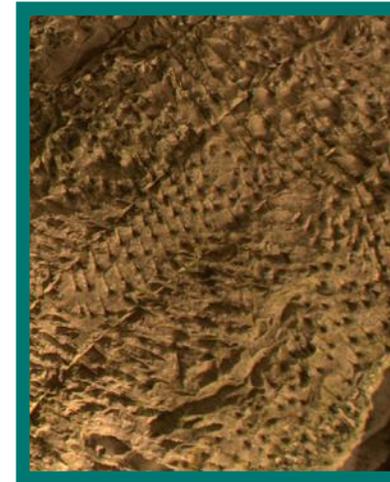


B2

Les carriers, les mineurs et les ouvriers qui creuseront les caves de Champagne utiliseront les mêmes outils pour l'abattage des matériaux. Ces outils sont connus depuis la plus haute antiquité et certains, identiques à ceux du XX<sup>e</sup> siècle, sont conservés au Musée des Antiquités Nationales de Saint-Germain-en-Laye. On distingue deux grandes familles d'outils : ceux à « pics » pour l'abattage et ceux à « taillants », ces derniers étant surtout utilisés pour la finition des parois. Barres à mine, pelles, houes, diables, brouettes, etc., compléteront la gamme utilisée.



A28 PHT



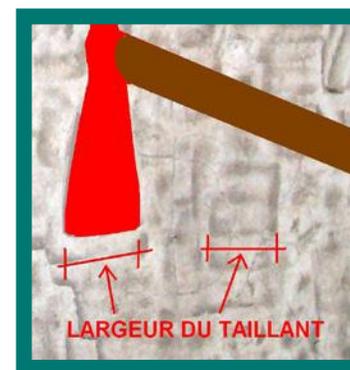
A29 PHT



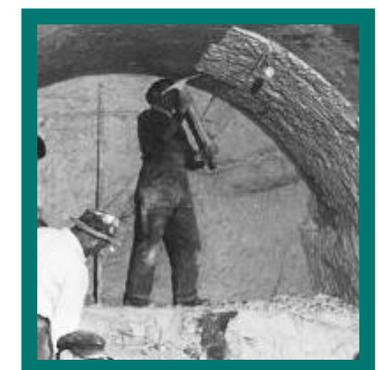
A30 PHT



A31 PHT



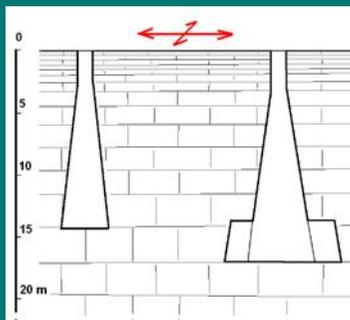
A32 PHT



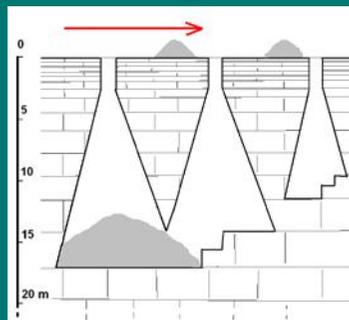
A322 Finition du parement de la galerie.

### A33 - LES CRAYERES - SYSTEMES D'EXPLOITATIONS - TYPOLOGIE

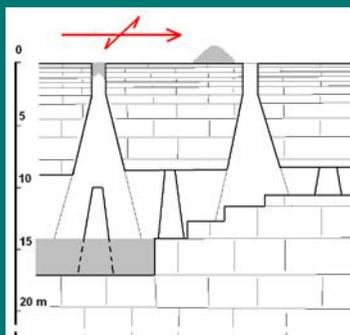
(Croquis de Philippe Tourtebatte) Vues en coupe - Le sens d'exploitation est indiqué par les flèches rouges, indication d'un site pilote d'exploitation significatif. Note : les systèmes se cumulent fréquemment de par leurs situations topographiques (zones péri-urbaines ou non) et chronologiques (époques d'occupation).



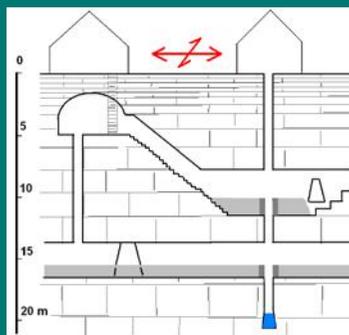
S1 exploitation isolées par essors et galeries reims - saint-remi - saint-nicaise - saint-julien (51)



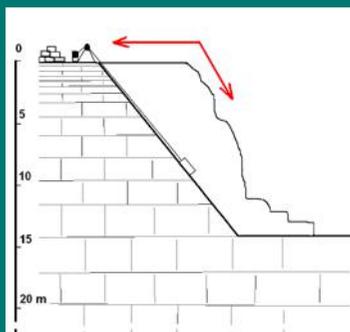
S2 exploitation par essors successifs Tous les sites (51)



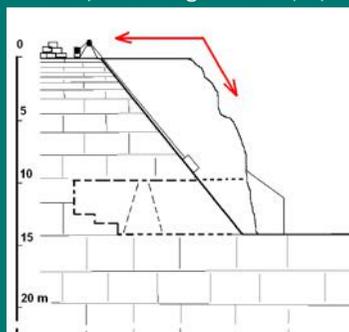
S3 exploitation par essors et galeries - Tous les sites (51)



S4 EXPLOITATION EN GALERIES ET PUIITS - Reims : Saint-Remi/Saint-Timothée/Anc. collège Jésuites (51)



S5 exploitation a ciel ouvert- Bisseuil (51) - Montgueux (10)



S6 exploitation a ciel ouvert et souterraine - Région de Châlons-en-Champagne (51)

### 1.1.3 Réutilisation des carrières de craie par les Maisons de Champagne.

Au XIX<sup>e</sup> siècle, l'expansion rapide du commerce des vins de Champagne innove avec un système de voûte elliptique à grande portée, maçonnerie en roche silico-calcaire (la meulière) et hourdée au mortier de chaux hydraulique. Cette innovation ne suffira pas : il fallait plus de place.

Vers 1860, la partie culminante de la colline Saint-Nicaise occupe un bon nombre de carrières qui remontent la craie du sous-sol que l'on va broyer pour faire de la charge minérale; d'autres vivent dans des baraques pour alimenter les fours à chaux en surface. Les vides laissés à l'abandon par les carrières vont être acquis par les propriétaires des marques de Champagne pour l'élevage et le stockage des vins.

Les essors seront particulièrement recherchés par les Maisons de Champagne du fait de leur volume important et seront parfois nommées du prénom des cavistes les plus méritants : crayères Edmond, Nicolas, Claude...

Le sous-sol de la colline sera loti, depuis la route de Cormontreuil jusqu'au Chemin vert, par les maisons Georges Goulet, de Saint-Marceaux, Roederer, Ruinart Pere et Fils, Champion, Pommery et Greno et Clicquot Ponsardin... L'année 1914 verra disparaître les derniers carriers.

Au XX<sup>e</sup> siècle, d'autres Maisons suivront : Taittinger, Delbeck, Piper Heidsieck, Charles Heidsieck, Doyen, de Noiron et Martel...

La voûte de plein cintre taillée en pleine craie est adoptée par les cavistes pour le stockage en vrac des bouteilles avec deux techniques de stockage : la mise sur pointes et la mise sur lattes. Ces voûtes spécifiques aux caves champenoises ne sont pas conçues pour l'extraction des matériaux, même si ceux-ci sont utilisés pour les constructions. Elles seront souvent creusées à partir des essors préexistants.



A34 Stockage des bouteilles sur lattes-MG



A35 Sur pointes - MG



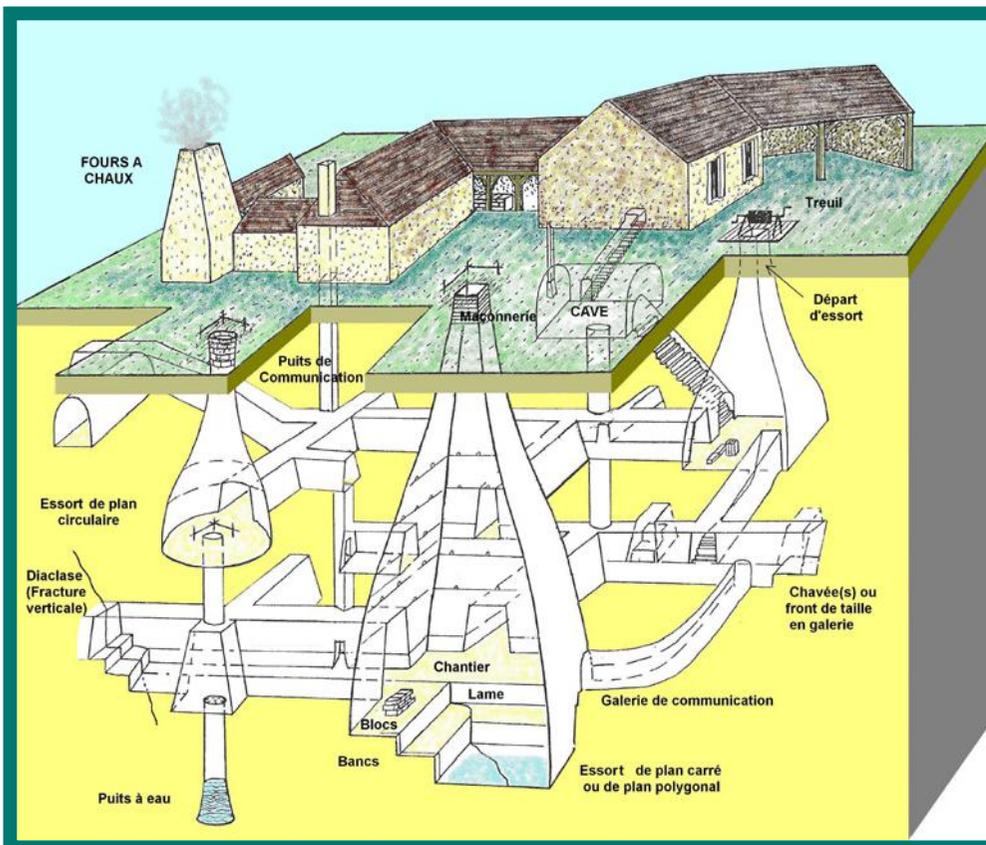
A36 En palettes ou la voûte en berceau - MG



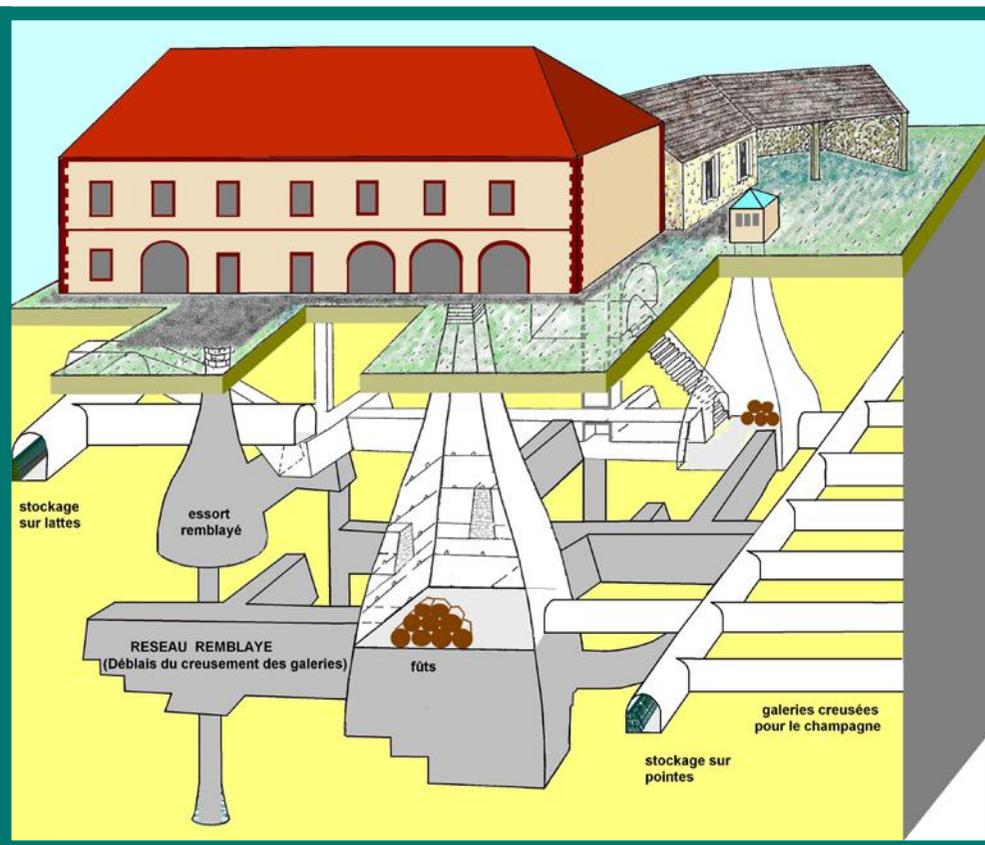
A371 Essor à sorties multiples (St.Nicaise/ Reims) - PHT

La craie homogène issue du percement des caves servira à remplir les essors les plus profonds et à confectionner des blocs pour la réalisation des maçonneries en surface. Des dizaines de kilomètres de galeries se superposent ainsi et se contournent au gré des besoins en craie et des modifications dues à la production des vins de Champagne et aux aménagements nécessaires pour le transport des bouteilles et autres.

De nos jours, près d'un milliard de bouteilles sont stockées dans le sous-sol crayeux de cette partie de la ville à une fraîcheur et une humidité constantes, permettant ainsi aux vins de Champagne une maturation incomparable.

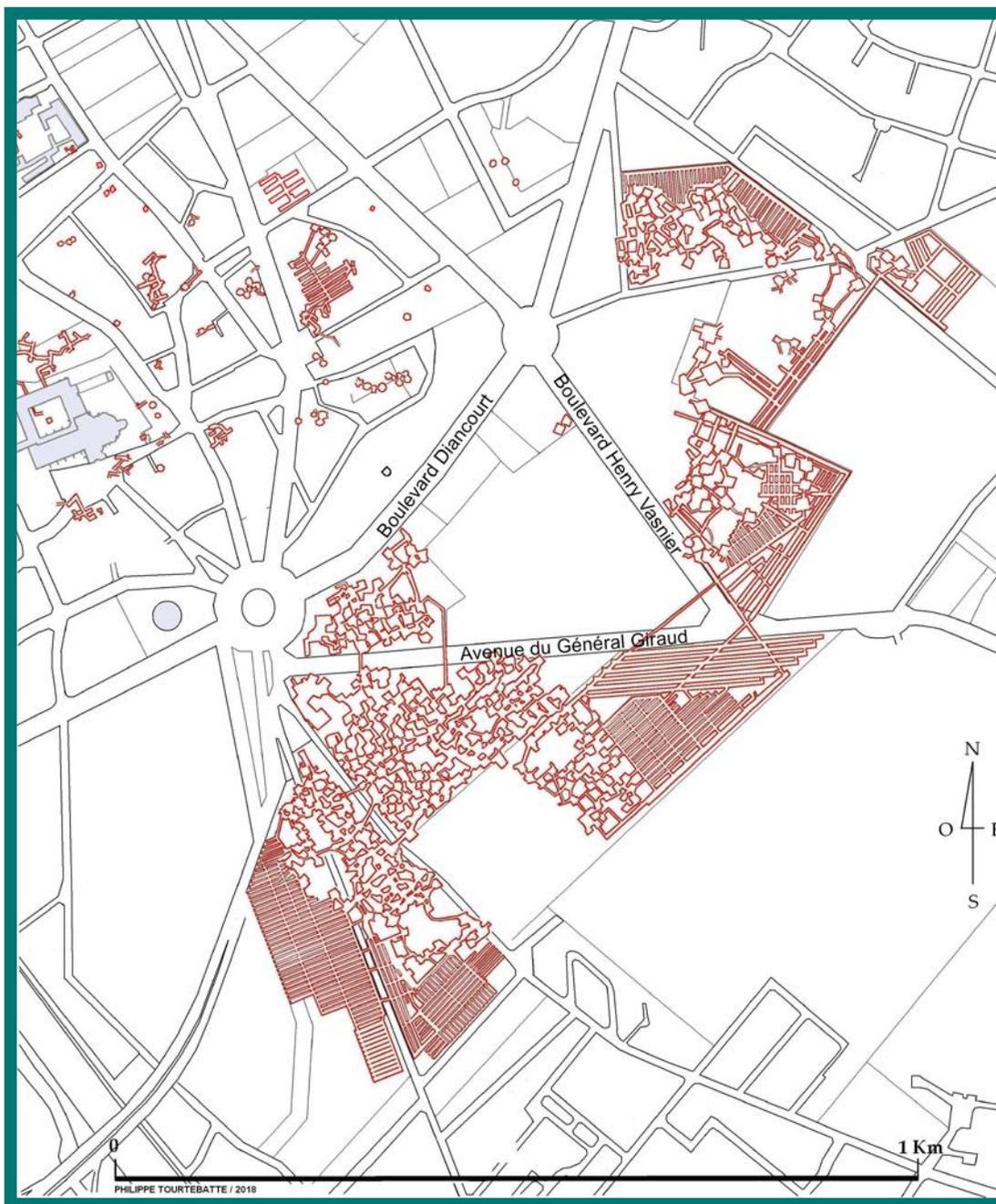


A37 Etat initial de la crayère - PHT



A38 Etat modifié par une Maison de Champagne - PHT

## A39 Plan général des cavités connues actuellement sous la colline Saint-Nicaise (PHT)



### 1.1.4 Les cavités sous la colline Saint-Nicaise

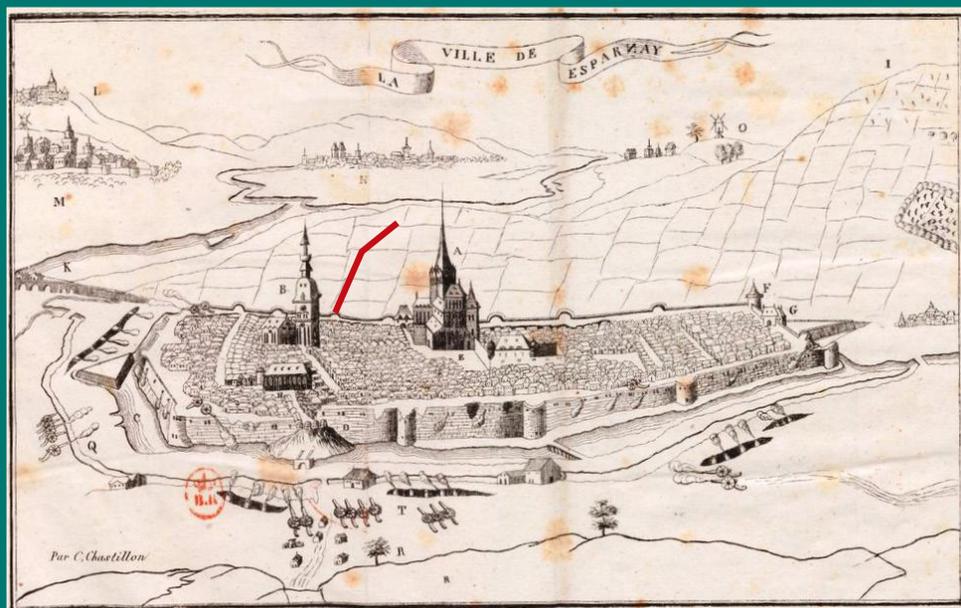
## 1.2. Les caves spécifiquement creusées pour le Champagne dans la craie, un exemple : Epernay. Une particularité unique : un surcreusement du sous-sol par les Maisons de Champagne

### 1.2.1 Résumé historique sur l'implantation des caves de Champagne à Epernay

L'actuelle avenue de Champagne est implantée sur l'axe de la route royale n°3 de Paris à Metz ouverte en 1744. Les plans anciens d'Epernay de la fin du Moyen Âge mentionnent dans le même tracé le chemin de l'hôpital qui se partageait en deux branches. Cette voie s'appellera ensuite rue de la Folie, dans le faubourg extra-muros du même nom, pour devenir après la Révolution la rue du Commerce, puis de nos jours l'avenue de Champagne.

H.B. Portelet, dans son ouvrage de 1837, mentionne l'existence vers 1578 de quelques celliers et magasins isolés dans la rue de la Folie. Cependant, l'implantation des premières Maisons de Champagne dans le faubourg de la Folie date surtout de la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle. Les caves situées de part et d'autre de la rue seront creusées dès les années 1800, pour s'étendre dans tout le sous-sol à partir de l'axe de la voie.

Le creusement du sous-sol est fulgurant : de quelques kilomètres de galeries en 1806 on passe à plus de 30 km vers 1890, pour atteindre les 100 km au milieu du XX<sup>e</sup> siècle. Ces caves creusées sur plusieurs niveaux sont exclusivement conçues pour toutes les opérations d'élaboration du Champagne.



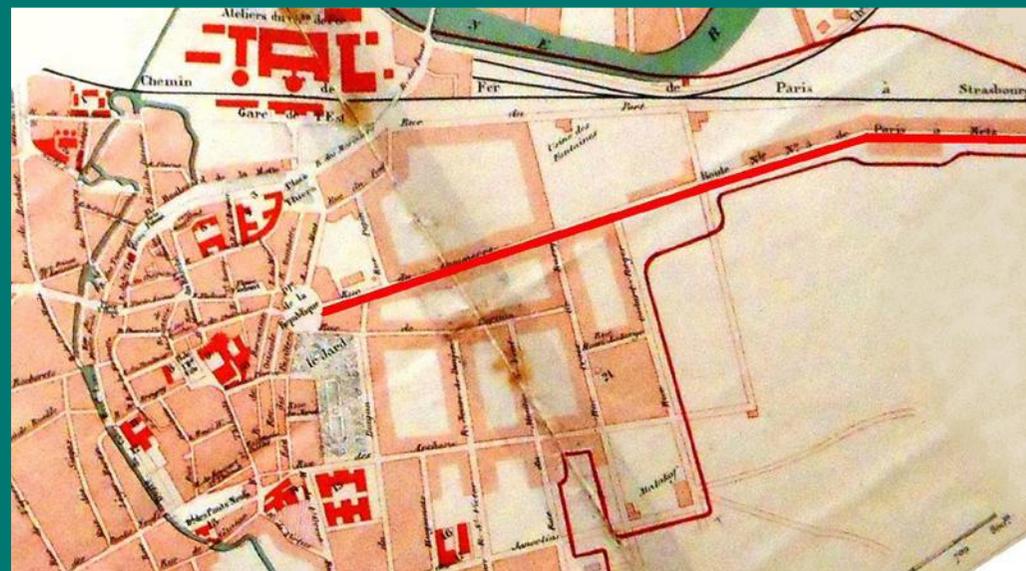
A40 Le siège d'Epernay par Henri IV par Claude Chastillon - 1592. (Trait rouge : tracé indicatif de l'avenue de Champagne) ADM/CP



A42 Cadastre de 1831/1840 - ADM/CP

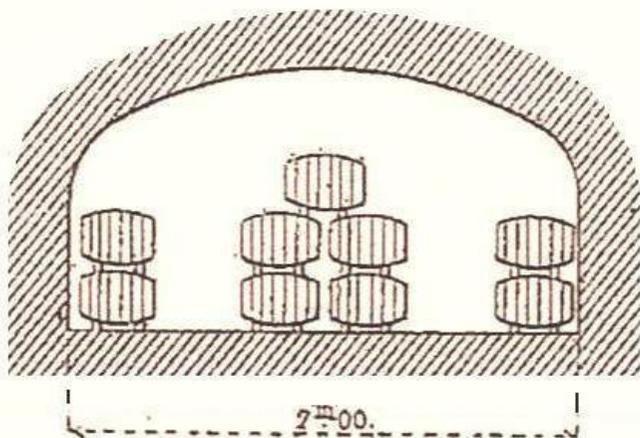


A41 Epernay: plan de 1753 - Axe de l'avenue de Champagne indiqué en trait rouge ADM/CP

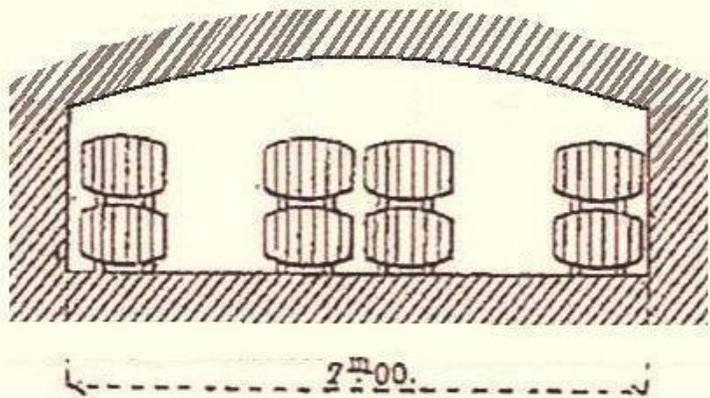


A43 Epernay: plan des limites de l'octroi vers 1900: situation de la rue du Commerce future avenue de Champagne - ADM/CP

### VOUTE EN BERCEAU ANSE-DE-PANIER



### VOUTE EN BERCEAU SEGMENTAIRE



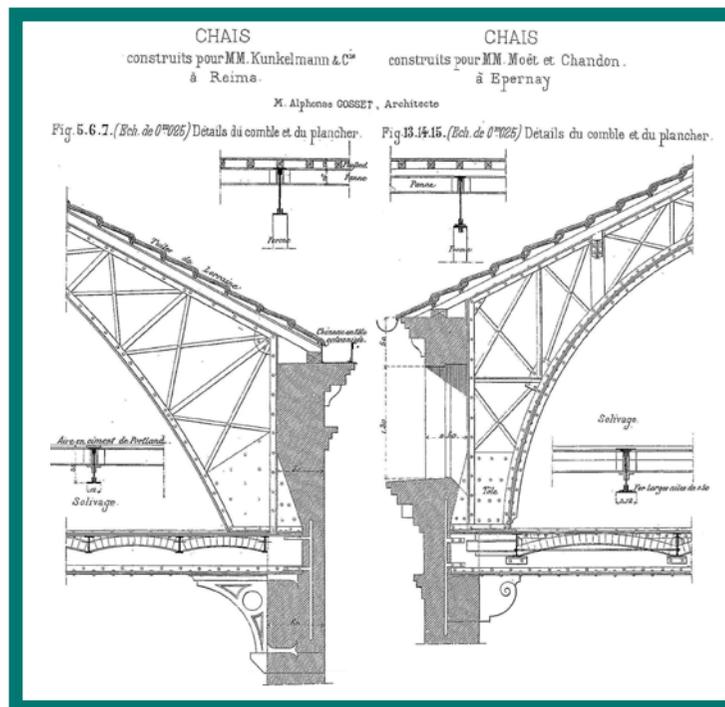
A44 D'après les Nouvelles Annales de la Construction N° 360 - Décembre 1884 - D'après l'architecte M.A. Gosset Journal de l'Agriculture, 31/05/1879 - Caves, celliers et chais de Reims et d'Épernay - BNF

## 1.2.2 Typologie architecturale des caves de Champagne à Épernay

L'architecture des caves est conditionnée par la manutention et le travail des vins. Les celliers couvrent les caves réparties en plusieurs niveaux : le premier niveau, appelé « bas-cellier » ou « premières caves », doit recevoir les vins en fûts, il est donc réglé d'après la longueur des fûts (+1 m). Les allées doivent permettre au caviste de passer facilement entre les rangées de fûts en tenant un panier dans chaque main : soit 1,25 m. Pour quatre fûts et deux passages avec isolement contre les piédroits, on a besoin d'une largeur minimale de 7 m. Des largeurs supérieures sont préconisées pour faciliter le travail. Considérant les portées importantes des voûtes et la fragilité de la craie de surface, les premières caves sont réalisées en maçonnerie avec des voûtes en anse de panier ou segmentaires.

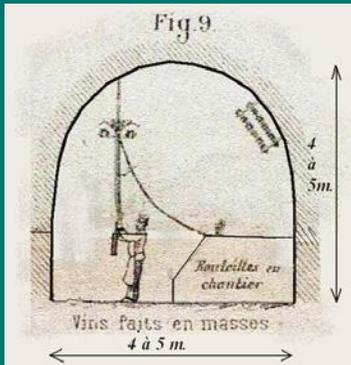
Les caves inférieures, dites « caves froides », sont creusées en pleine craie et de préférence voutées en berceau, forme qui facilite la ventilation. Hauteur et largeur peuvent atteindre 4 m suivant la nature de la roche, les galeries sont séparées par des piédroits ayant au moins 1,50 m d'épaisseur. On constate fréquemment des galeries de largeur inférieure dues à la résistance moindre de la craie en place ou conçues uniquement pour les passages de service.

## 1.2.3 Profils des voûtes de caves de Champagne à Épernay (1879/1884), voûtes maçonnées à grandes portées (A44) ◀

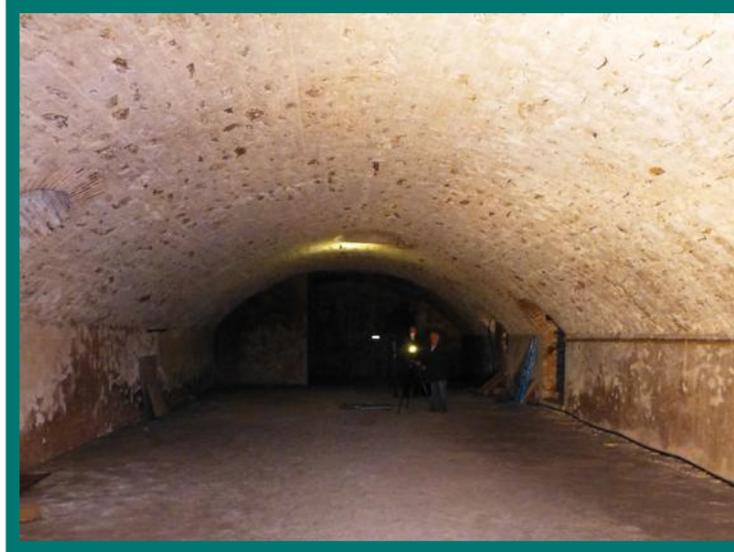
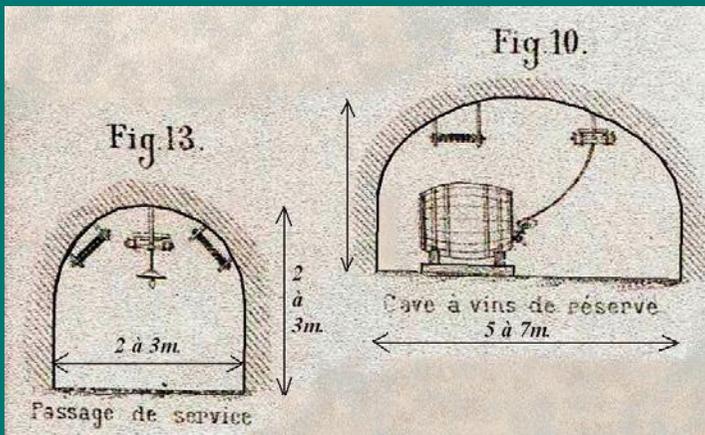
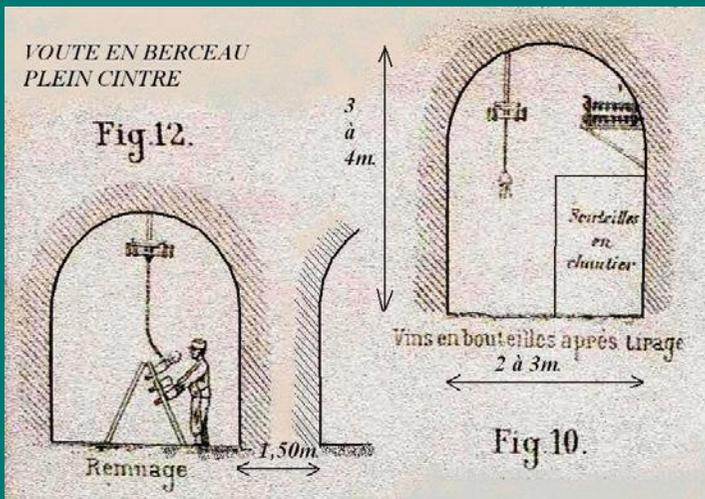


A44Bis Détails des charpentes métalliques d'après les Nouvelles Annales de la construction - BNF

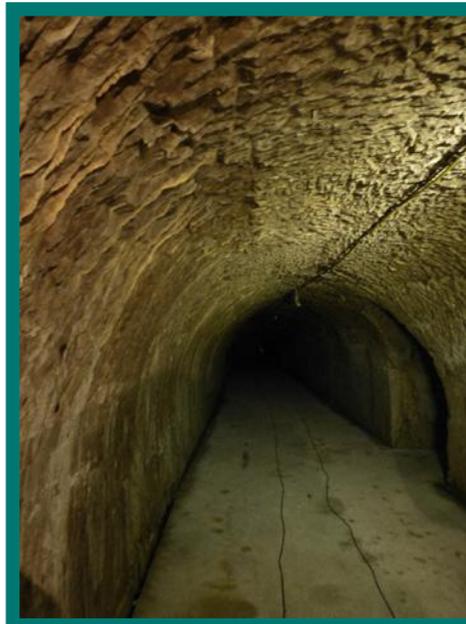
### 1.2.4 Profils des voûtes de caves de Champagne à Epernay (1879/1884), voûtes taillées en pleine craie et (ou) maçonnées



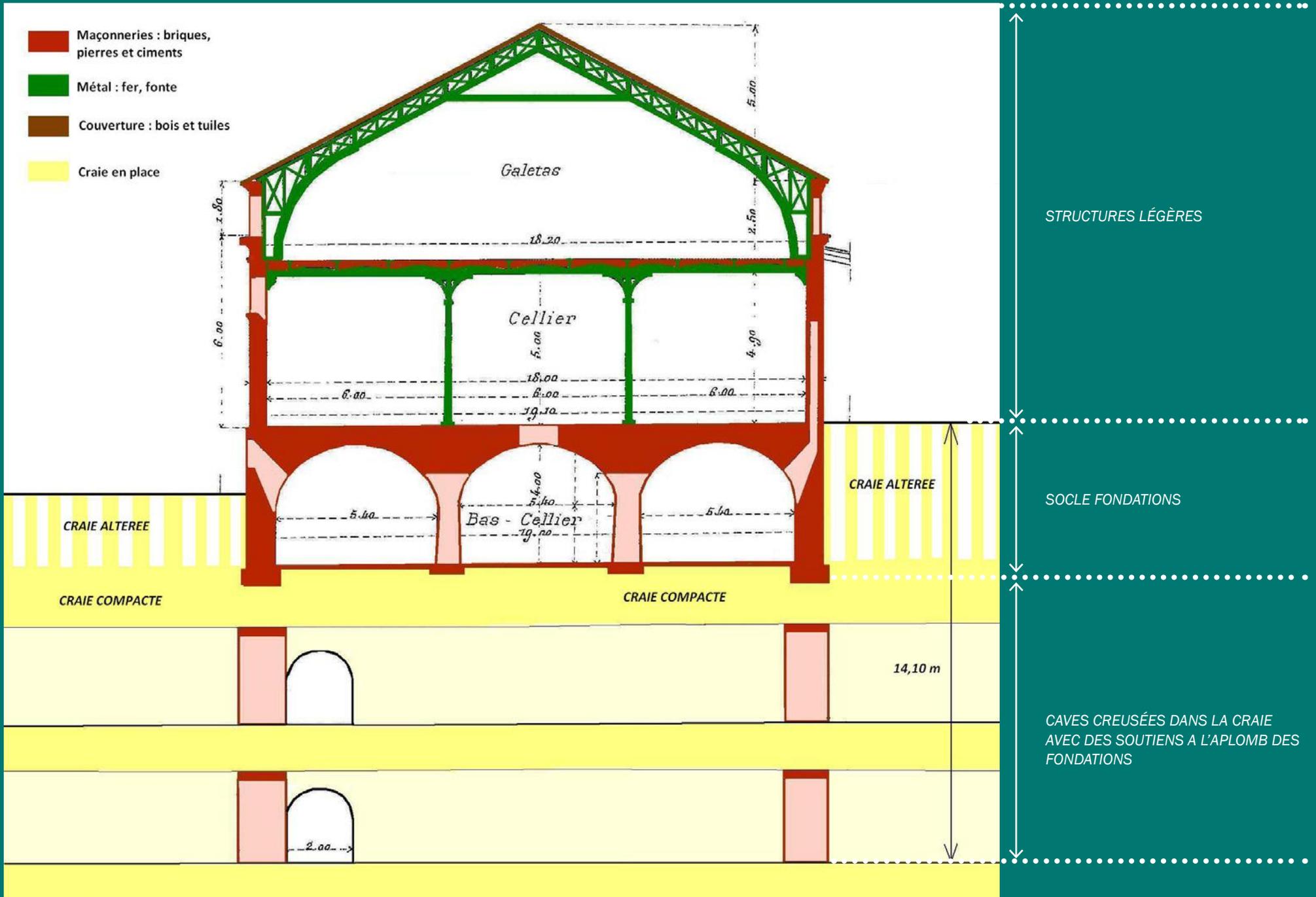
A45 D'après le Génie Civil -  
Revue générale des industries  
- N° 21 - Tome XVI - 22 mars  
1890 - Caves Moët & Chandon  
- BNF



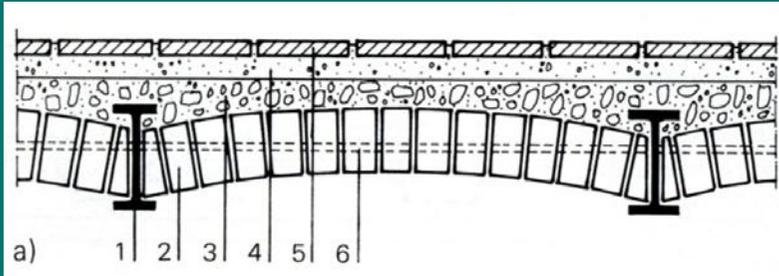
A46 Epernay : voûte maçonnée en berceau segmentaire (caves inutilisées) - PHT



A47 Voûte taillée en  
berceau plein cintre - PHT

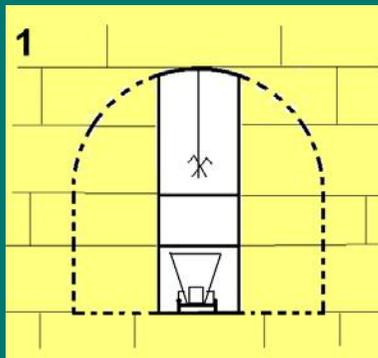


A48 Hiérarchisation des charges structurelles pour la stabilité des caves - PHT

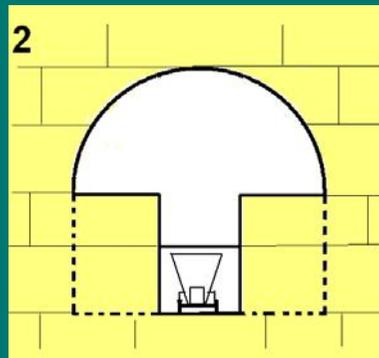


A49 Coupe d'un plancher poutrelles/briques - PHT

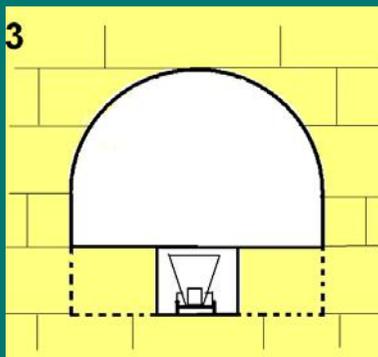
1. Solive métallique.
2. Brique en terre cuite.
3. Béton plus ou moins dosé.
4. Mortier de pose du carrelage.
5. Carrelage
6. Entretoise boulonnée ou tirant.



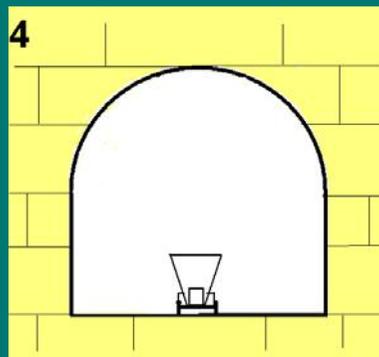
A50 1 Galerie pilote



A51 2 Réalisation de la voûte



A52 3 Pieds droits



A53 4 Galerie finale

Au XIX<sup>e</sup> siècle, on a utilisé des matériaux légers disponibles pour l'élévation : les charpentes métalliques. Les maçonneries plus rigides qui constituent la base ou le bas-cellier servent de supports pour asseoir la construction avec le moins de contraintes possibles localisées sur le sol afin d'éviter les effets de poinçonnement.

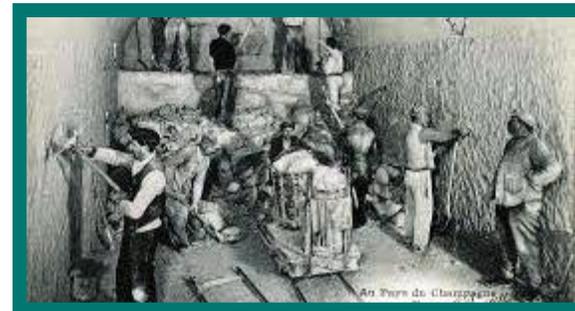
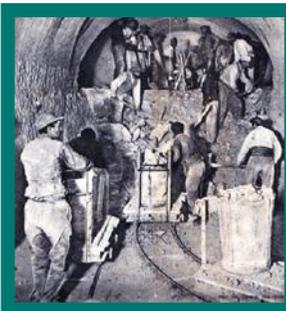
On innove également avec les planchers des celliers allégés avec poutrelles métalliques et hourdis en briques pleines ou creuses maçonnées.

### 1.2.5 Méthodes de creusement à partir de la surface

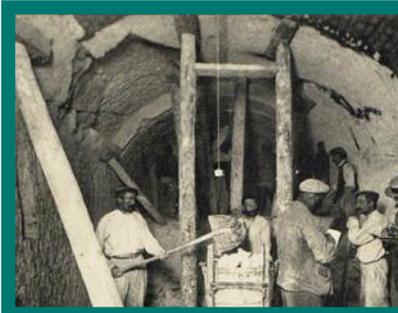
Lorsque les terrains de recouvrement sont absents ou trop faibles, on creuse une tranchée à ciel ouvert dans laquelle se construit l'ouvrage. Cette technique sera systématiquement utilisée pour la réalisation des celliers et premières caves aux voûtes à grande portée. Ce type d'ouvrage est également construit dans les terrains non cohérents (remblais, etc.) et réalisés en maçonnerie.

### 1.2.6 Méthode de creusement en profondeur dans la craie homogène

A partir de moins huit à dix mètres, la craie est suffisamment cohérente pour permettre un creusement en souterrain. Cependant, les discontinuités de la craie, la nature des couches sus-jacentes et la présence d'eau sont les paramètres fondamentaux dont il faut tenir compte pour les caves creusées en pleine craie. On adopte donc des techniques de mise en œuvre issues du percement des tunnels et des mines.



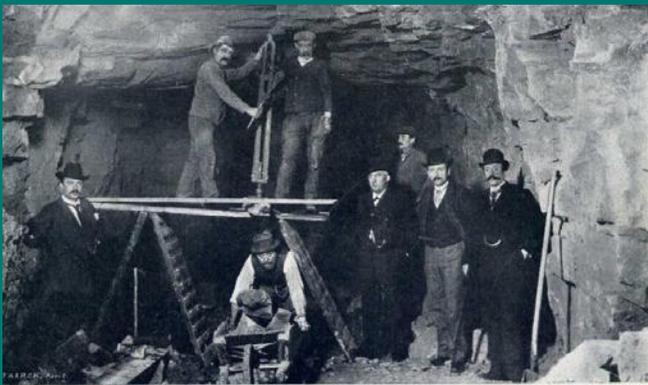
A54 A55 Creusement des caves à Epernay vers 1900, on peut remarquer le fil à plomb directeur dans l'axe de la galerie - UMC



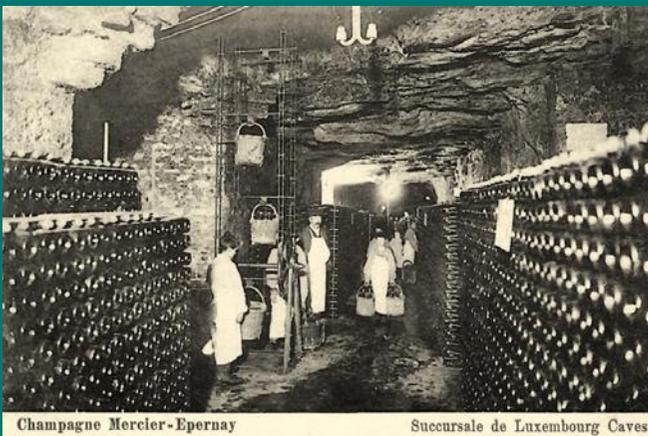
A56 UMC A57 Front de taille d'une galerie inachevée - MG



ÉPERNAY — PERCEMENT D'UNE NOUVELLE GALERIE DE CAVES  
(Collection du Champagne Mercier).



ÉPERNAY — PERCEMENT D'UNE GALERIE DE CAVES  
(Collection du Champagne Mercier).

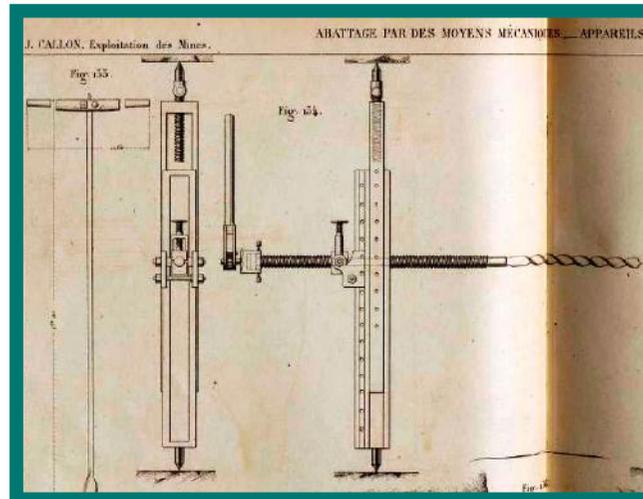


Champagne Mercier - Epernay Succursale de Luxembourg Caves.

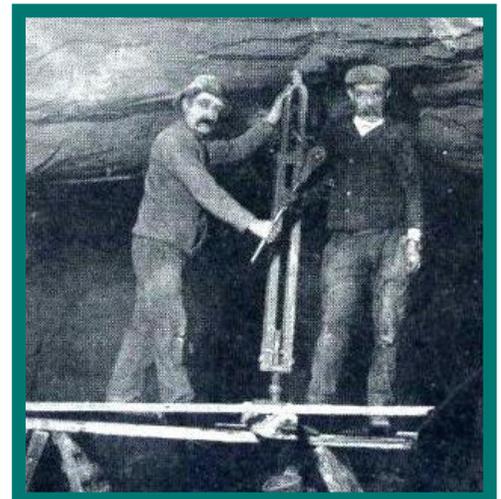
A58 A59 Percement d'une nouvelle galerie (Epernay)

Sur les trois photographies ci-contre, de la collection du Champagne Mercier. La fracturation de la roche visible ne correspond pas à la morphologie d'une roche crayeuse.

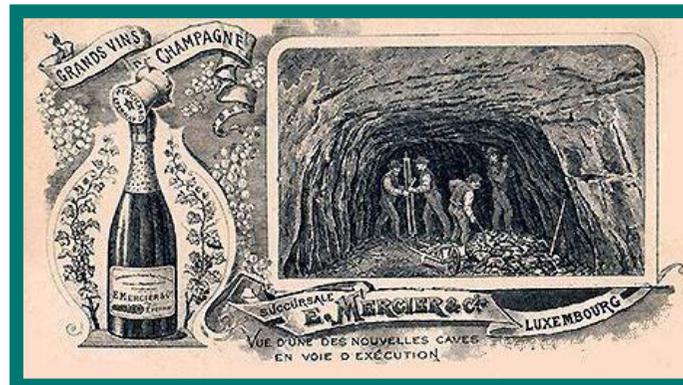
Il s'agit d'une roche dure stratifiée, car sur la photo de droite les ouvriers sont perchés sur un échafaudage de fortune, ils posent avec une machine de perforation utilisée dans les mines. Ces photographies ont été prises lors du creusement des caves à Luxembourg Ville où Eugène Mercier installa une succursale en face de la Gare. Le site est de nos jours occupé par la poste centrale Luxembourgeoise qui porte le non de « poste Mercier » entre la rue de Reims et d'Epernay.



A60 Foreuse mécanique - BNF



A61 détail agrandissement de A59



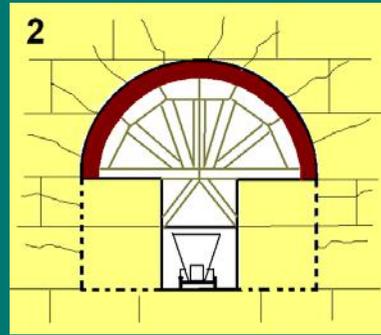
A62 A63 Détail papier en-tête de l'agence Mercier au Luxembourg - BNF



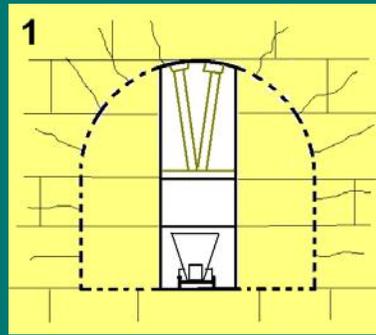
### 1.2.7 Méthode de creusement en profondeur dans la craie hétérogène (Epernay, Reims et les villages champenois sur la craie)

La méthode consiste à percer une galerie pilote dans l'axe directeur de l'ouvrage projeté. On procède ensuite à l'évidement des parties hautes à droite et à gauche où l'on va construire une voûte en brique au fur et à mesure de l'avancement du tunnel. Les pieds droits seront réalisés en dernier, en sous-œuvre par tronçons successifs.

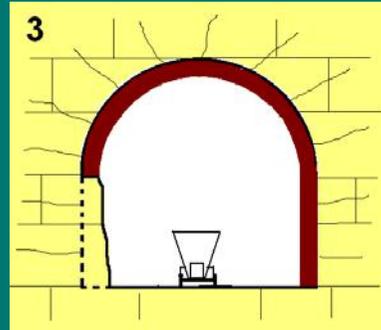
Des fronts de taille seront laissés en attente pour le percement ultérieur de galeries vers d'autres caves. Leur observation permet de connaître l'épaisseur des maçonneries de soutien et l'état de fracturation de la craie.



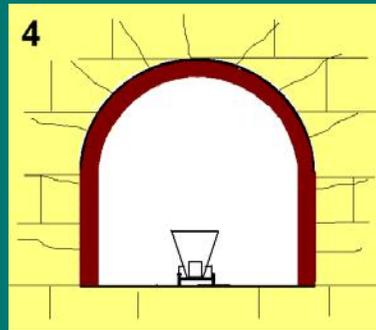
A64 1 Galerie pilote étayée - PHT



A65 2 Maçonnerie de la voûte - PHT



A66 3 Réserve pour les pieds droits - PHT



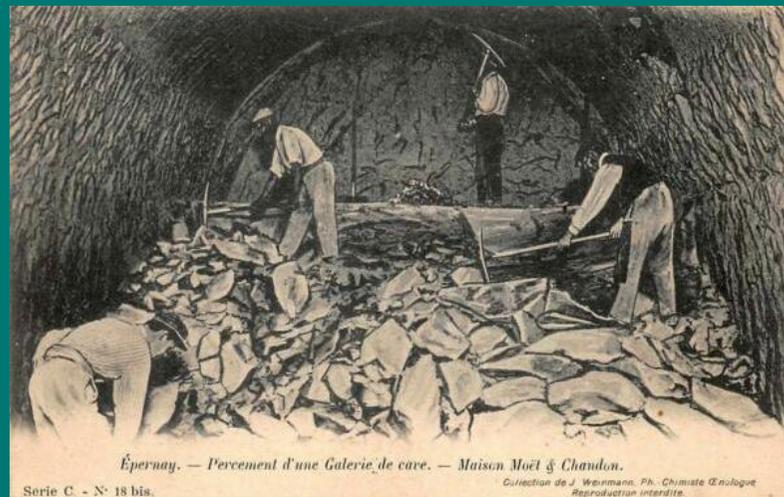
A67 4 Maçonnerie des pieds droits - PHT



A68 Etaiement de caves vers 1900: à noter le regard de l'ouvrier à gauche de la photographie - UMC

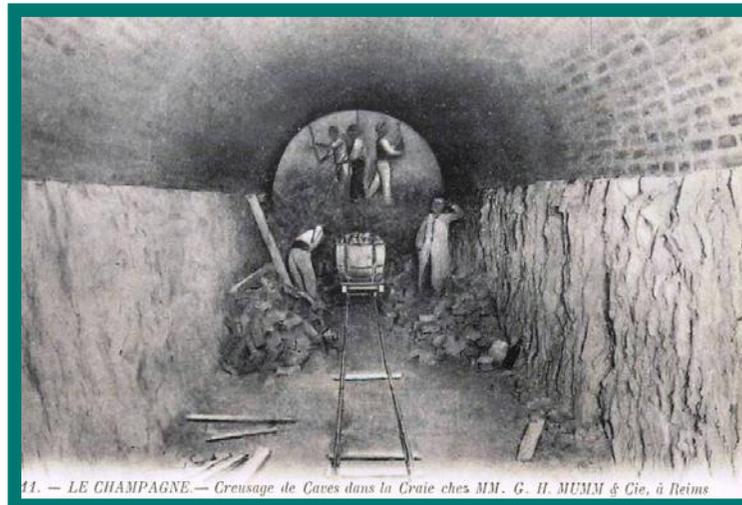


A69 Front de taille - MG

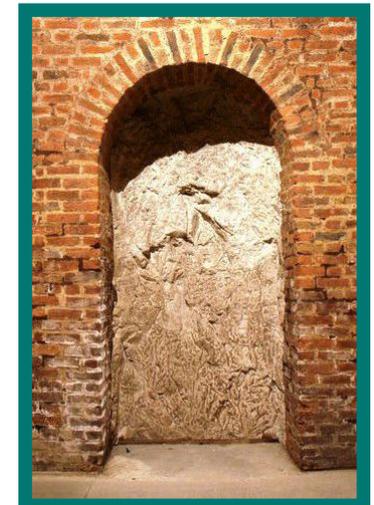


Epernay. — Percement d'une Galerie de cave. — Maison Moët & Chandon. Collection de J. Weismann. Ph. Chimiste Oenologue. Reproduction interdite.

A67Bis Creusement d'une galerie de cave.

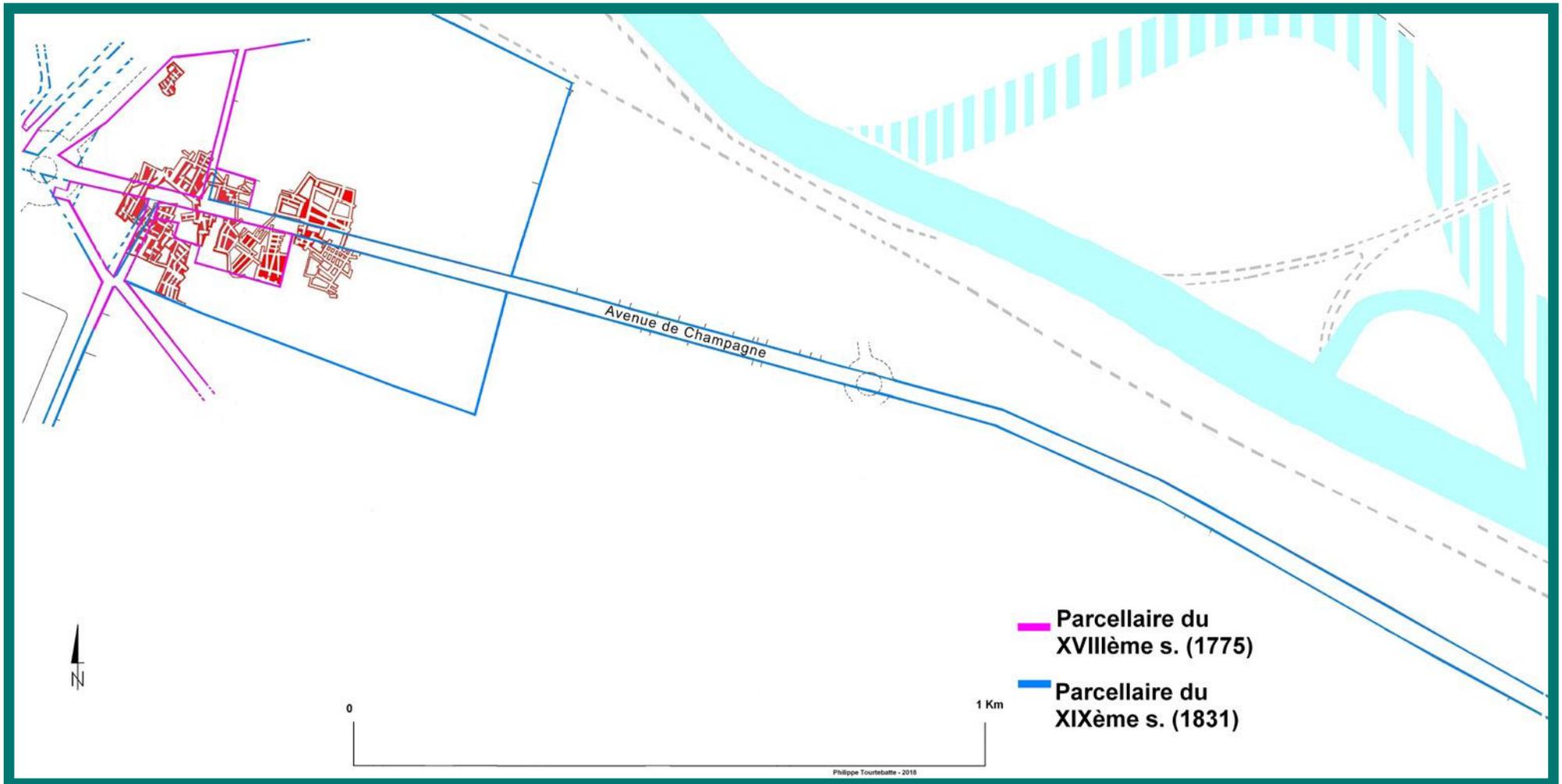


11. — LE CHAMPAGNE. — Creusage de Caves dans la Craie chez MM. G. H. MUMM & Cie, à Reims

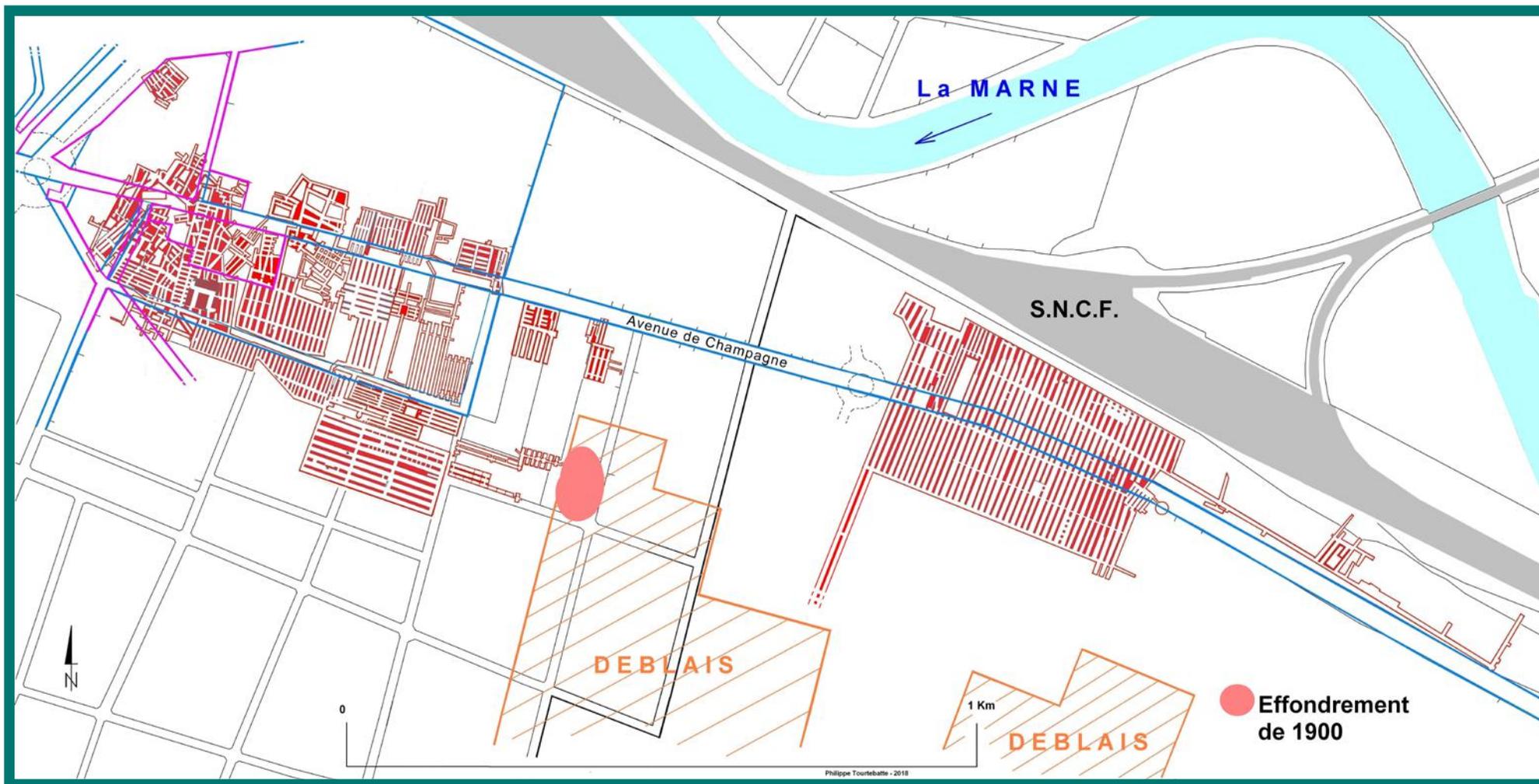


### 1.2.8 Cartographie schématique des grandes périodes de creusement des caves à Epernay - Avenue de Champagne

A72 Du XVIII<sup>e</sup> siècle (1775) au début du XIX<sup>e</sup> siècle (1830) - PHT



A73 Du milieu du XIX<sup>e</sup> (1849) siècle au début du XX<sup>e</sup> siècle (1925)- PHT



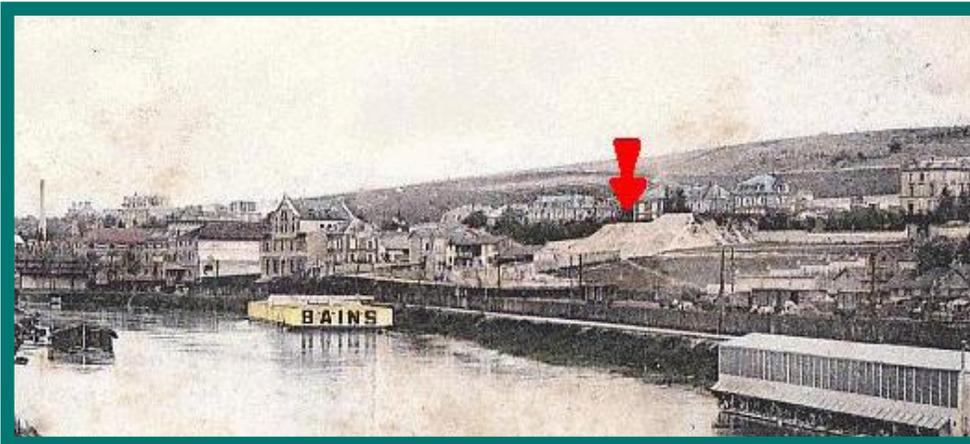
A74 Du début du XX<sup>e</sup> siècle (1900) au XXI<sup>e</sup> siècle (2000) - PHT



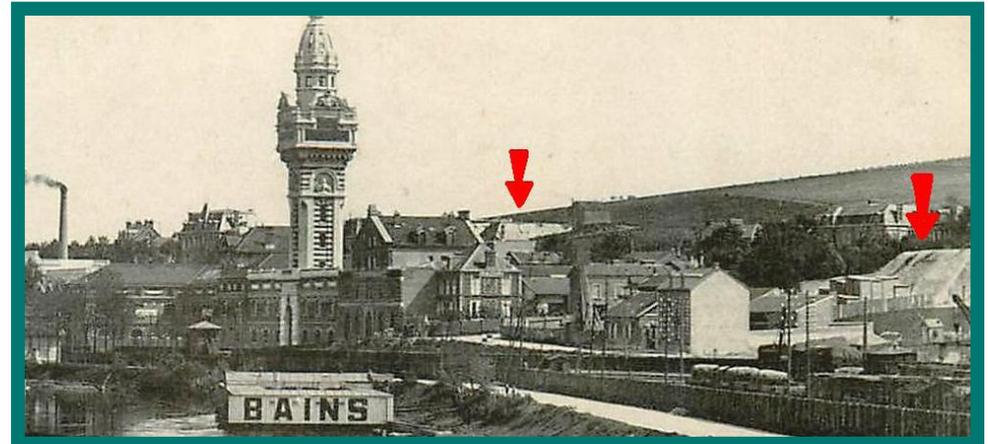
### 1.2.9 Stockage des déblais issus du creusement des caves à Epernay

Le volume de craie extrait au cours du creusement est considérable et dépasse les deux millions de mètres cubes avec le foisonnement ! La vente de poudre de craie pour les amendements des cultures, pour les remblais sur la Marne au niveau du chemin de fer et des caves Mercier, et la réduction en poudre de la craie commercialisée en charge minérale ne suffisent pas à écouler cette masse considérable. Différentes aires de stockage sont donc installées en amont, le plus loin et le plus haut possible des zones d'extension des caves.

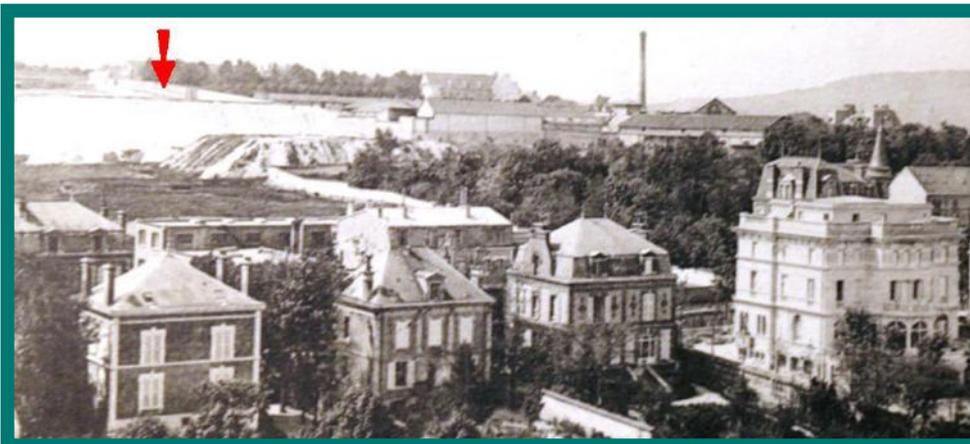
Le poids des déblais qui se tassent progressivement risque de déstabiliser les sous-sols comme ce fut le cas pour l'effondrement des caves Pol Roger en 1900. On évite donc un creusement sous les zones de stockage.



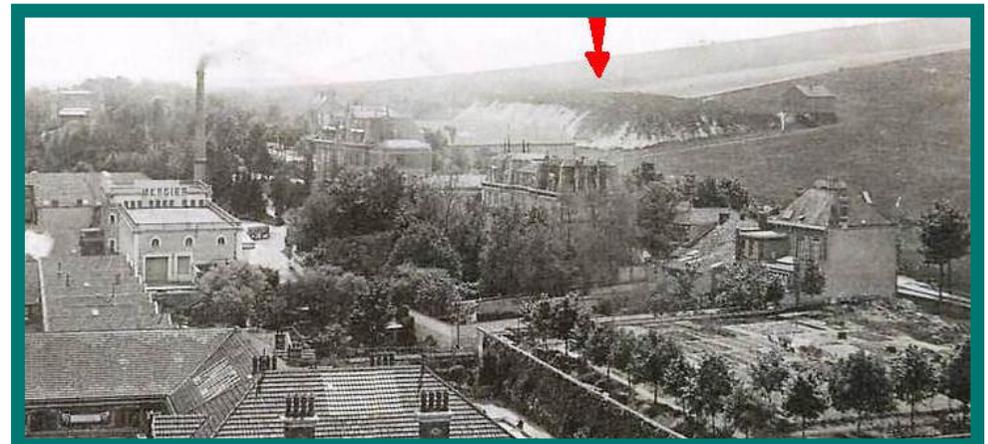
A75 Epernay vue avant 1900:secteur rue de Metz - ADM/FI



A76 Epernay vue vers 1900:secteur Mercier et rue de Metz -ADM/FI



A77 Epernay - Vue vers 1900:secteur rue Henri Lelarge et rue de la Crayère - ADM/FI



A78 Epernay - Vue vers 1900:secteur du Mont Bernon en amont des caves Mercier - ADM/FI

### 1.2.10 Effondrements généralisés

Dans la nuit de 23 au 24 février 1900, entre deux et quatre heures du matin, une partie des caves de la Maison Pol Roger s'est effondrée. Le fontis arrivé à jour faisait 75 mètres de long sur 60 mètres de large avec une profondeur d'environ 20 mètres. La cause évoquée par les chroniques de l'époque indique que le creusement a eu lieu à l'emplacement d'une ancienne cuvette remblayée précédemment par des amas de craie issus du creusement des caves voisines. Le lieudit « les petits sapins » était un endroit vierge de toute construction.

Les conditions météorologiques relatives à cette période font état de très fortes précipitations.

D'inquiétants tassements avaient été signalés quelques jours plutôt et l'on avait procédé à des mesures d'étalement. Les caves avaient été conçues pour être systématiquement doublées par des arcs maçonnés en brique dès les travaux de creusement effectués. La catastrophe réveilla tous les habitants des alentours, mais heureusement on ne déplora aucune victime. L'évaluation des dégâts indiquée par les chroniqueurs de l'époque est très variable selon les sources, ce qui n'empêche pas des pertes considérables estimées à plus de 1 million de bouteilles et à 500 pièces de vins qui remplirent les caves voisines où l'on installa des pompes de purge.

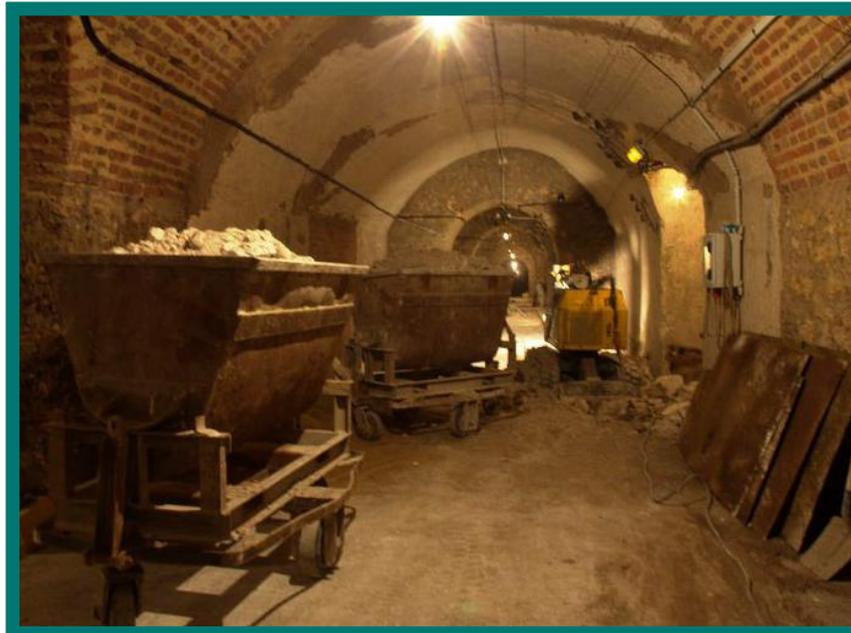
La rue Godart s'affaissa sur une profondeur de 4 mètres et la rue Henri Lelarge se lézarda considérablement. Les caves les plus proches de la Maison de Champagne Wachter ne furent pas affectées par ce mouvement de terrain.



A79 Epernay - Vue de la rue Henri Lelarge à gauche - SIRGE.



A80 Epernay - Le fontis visible au premier plan permet de distinguer une stratigraphie de remblai qui ne correspond pas à la craie en place - SIRGE



A80Bis  
Déblaiement en  
cours... MG

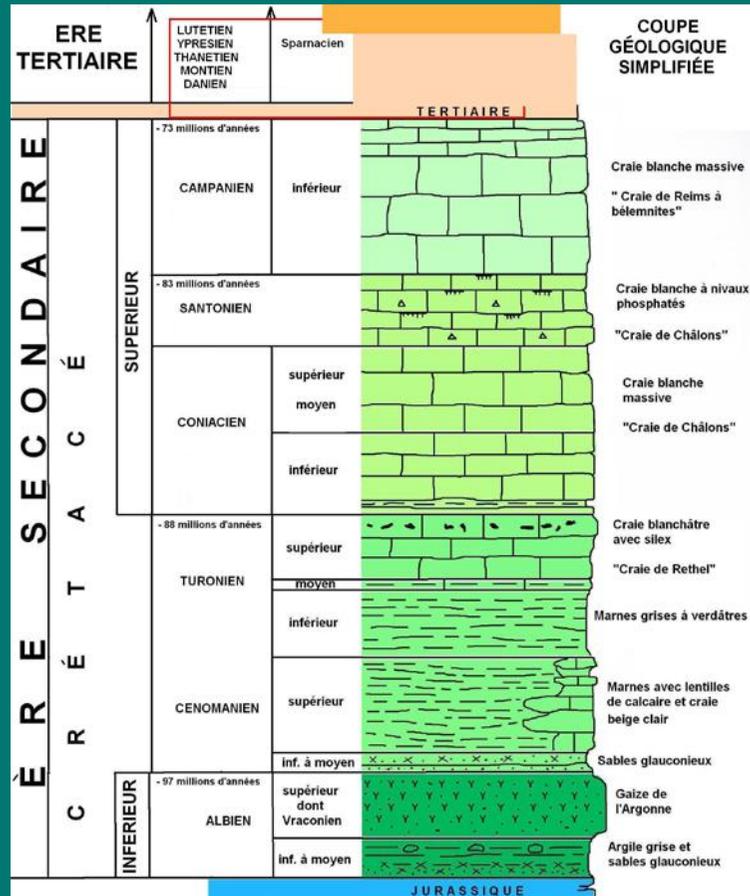
### 1.3. Les caves dans les formations géologiques stratifiées du tertiaire, un exemple : les carrières de la vallée de la Marne

#### 1.3.1 Résumé géologique et historique

Pendant l'ère tertiaire, il y a 50 millions d'années, notre région était submergée par une mer peu profonde où vivaient de nombreux gastéropodes.

Ces animaux marins allaient constituer les principaux gisements de fossiles que nous pouvons observer aujourd'hui dans les sous-sols. A la fin du tertiaire, notre région émerge et la boue riche en coquilles de mollusques va progressivement devenir la roche calcaire qui compose le paysage actuel de la vallée de la Marne, des vallées de la Vesle et de l'Ardre, ainsi que la région de Sézanne.

Cette période située dans les temps géologiques porte le nom d'Eocène. Elle est divisée en plusieurs sous-systèmes ou époques. Les principaux sous-systèmes de ce faciès géologique, sources de gisements de matériaux sont : le Lutécien (de Lutèce, ancien nom de Paris) formé surtout de calcaires, et l'Yprésien (de Ypres en Belgique) formé surtout de sables. Les couches sédimentaires (bancs) qui composent ces formations sont des strates séparées par des joints de stratification souvent riches en argiles. Ces joints constituent souvent des plans de décollement entre les bancs.



A82 Coupe géologique simplifiée - PHT



A81 Exploitation à ciel ouvert - Coupe stratigraphique à Courville - PHT

### 1.3.2 Méthodes d'exploitation et de creusement

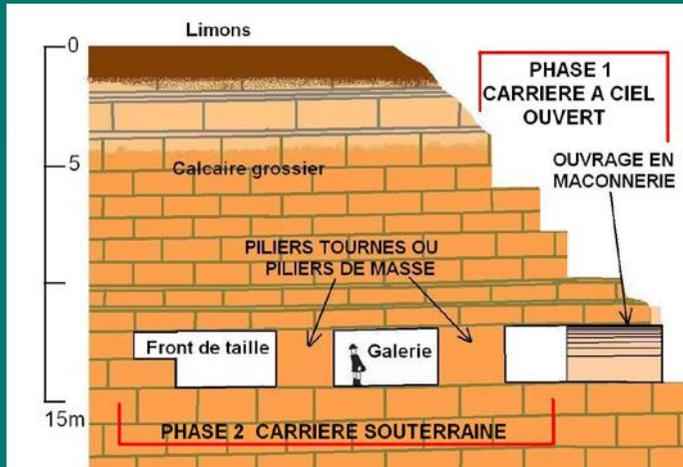
L'extraction des roches calcaires s'effectue surtout en souterrain car l'emprise des carrières est importante et les terres de recouvrement considérables. Les roches calcaires tendres sont gélives à leur sortie de carrière, car chargées en eau de pluie. Il faut donc un certain temps de séchage avant leur utilisation. L'exploitation souterraine permet de travailler en hiver, saison morte pour les travaux de culture en surface.

#### LES DEUX PRINCIPALES MÉTHODES D'EXTRACTION SONT LES SUIVANTES :

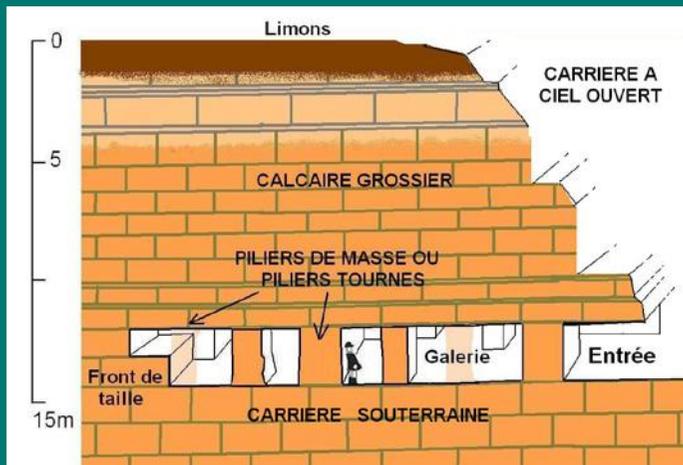
##### la première technique,

utilisée à toutes les époques, est l'exploitation par chambres et piliers qui se caractérise par une répartition des vides (chambres) plus ou moins bien ordonnés en gardant des piliers de roche, laissés en place et de sections variables, appelés « piliers tournés ».

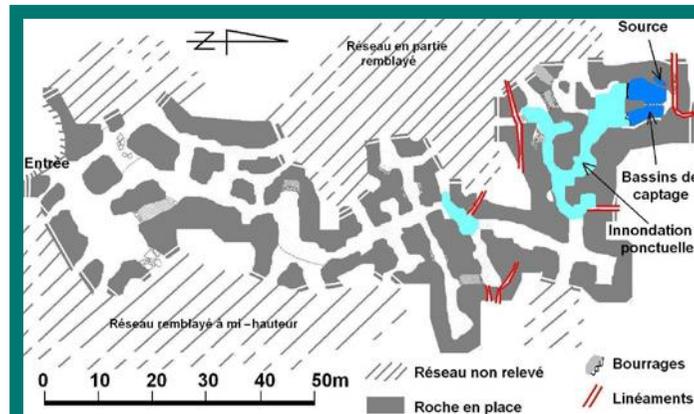
Les piliers sont d'autant plus géométriques que l'exploitation est récente, leur disposition est conditionnée également par les fractures de la roche et sa résistance mécanique. Ce type d'exploitation est plus favorable à la stabilité des toits ou ciels, et sera donc préféré par les vigneron pour un réemploi à l'usage de stockage, de maturation et de conservation du Champagne ;



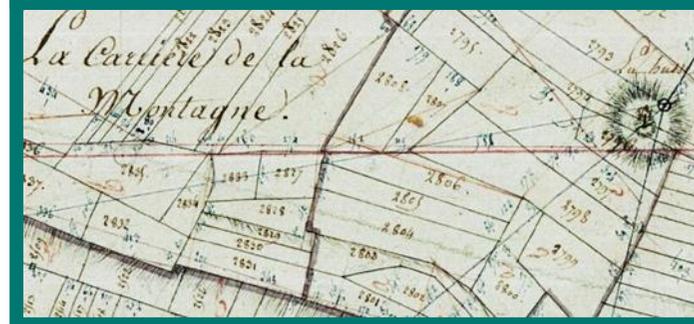
A83 Exploitation à piliers tournés réguliers ou en damier - PHT



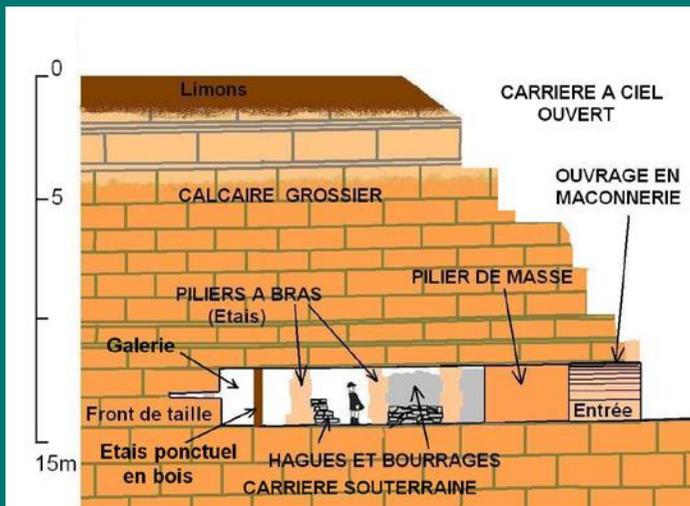
A84 Exploitation à piliers irréguliers - PHT



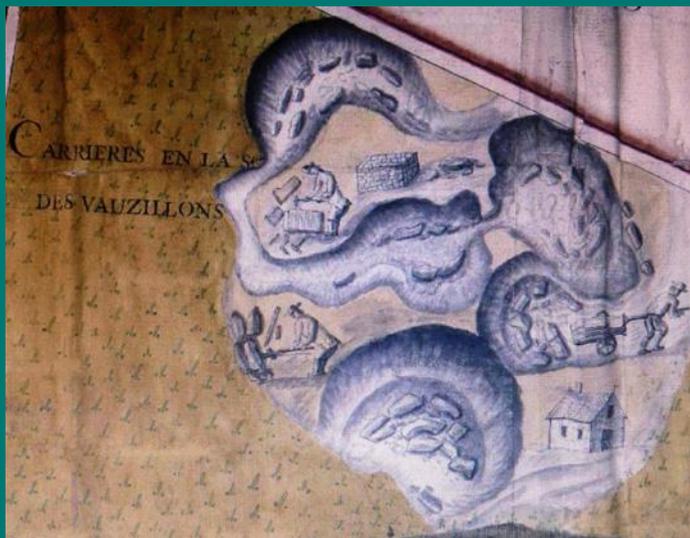
A85 Plan de la « Carrière de la Montagne » à Prouilly (51) levé en 1975 (PHT). Cette exploitation à piliers tournés irréguliers est notifiée abandonnée sur un plan de 1789 (Villain ADM/CP). L'exploitation à ciel ouvert et en souterrain sera reprise au XIX<sup>e</sup> siècle. Le réseau de galeries se développe en partie sous un tumulus fouillé à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, dénommé par le terme champenois « husse » ou « housse », et comporte un système de captage des eaux de sources dans la carrière. La majeure partie du réseau est remblayé. Formations du Lutétien.



A86 Prouilly (51) Extrait du cadastre de 1819 - ADM/CN



A87 Exploitation par hagues et bourrages - PHT



A87B Carrières de Rilly-la-Montagne 1750 - ADM/CP

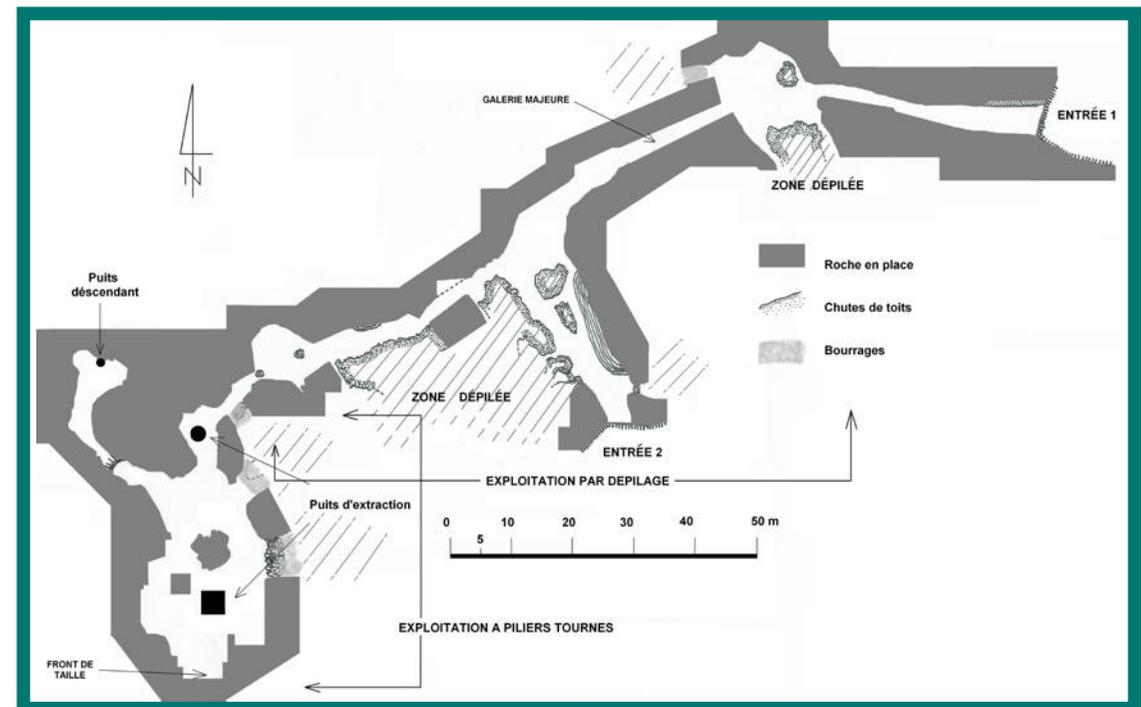
### la seconde technique,

qui se généralise vers la fin du Moyen Âge, est l'exploitation par « hagues » et « bourrages ». Cette méthode est un véritable défilage total de la carrière.

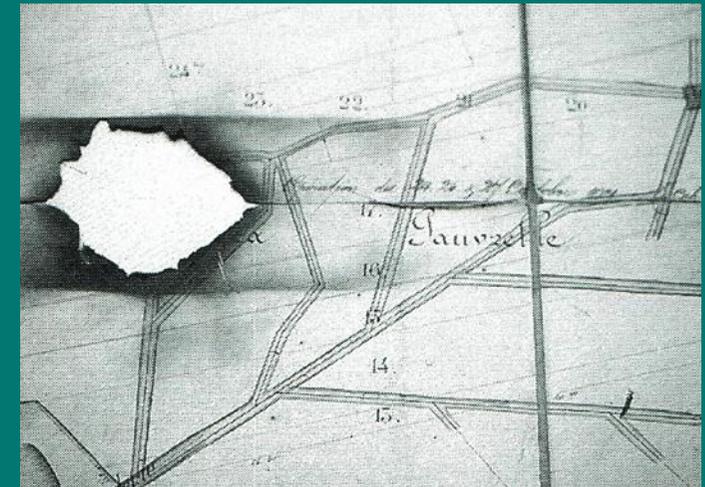
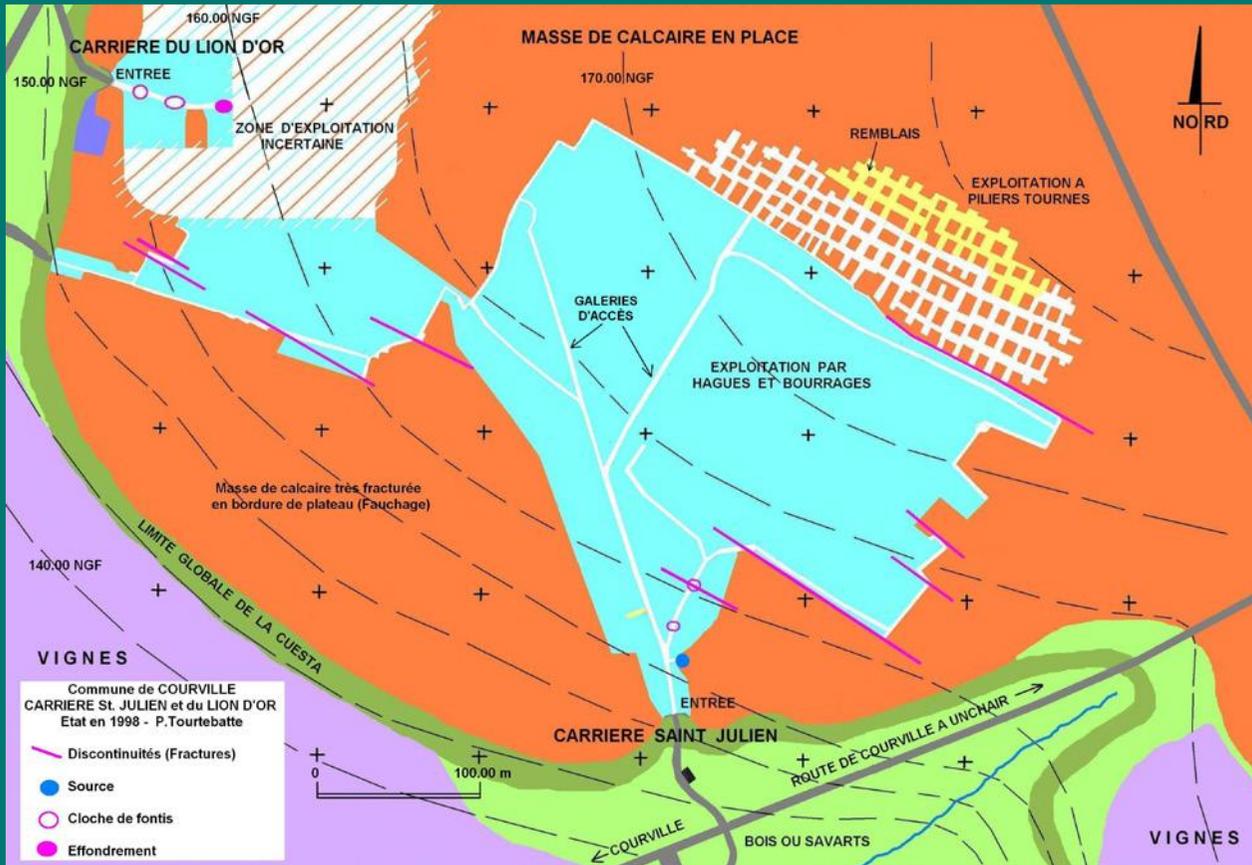
Elle consiste à extraire toute la pierre disponible sur une grande largeur en ne laissant aucun pilier en place en arrière du front de taille. La stabilité du ciel de l'exploitation est assurée au cours de la progression par des étais de moellons empilés, non liés entre eux, appelés « piliers à bras », et des étais ponctuels en bois.

On remblaie ensuite les espaces entre piliers avec les déchets de taille appelés « bourrages » et retenus par des murets en pierre sèche appelés « hagues ». Une galerie d'accès pour la sortie des blocs est conservée puis renforcée par des soutiens maçonnés ou en pierre sèche.

Certaines carrières sont creusées avec les deux techniques en fonction des époques et des besoins, ce qui permet l'identification des phases d'exploitation ainsi qu'une datation indicative des ouvrages.



A88 Plan de la carrière de Vertus levé en 1975 (PHT). Le calcaire de Vertus, de la carrière aux lieux dits les falaises et la grande cave, a été utilisé au début du XII<sup>e</sup> siècle pour la construction de la crypte de la cathédrale de Meaux et la façade occidentale de Notre Dame en Vaux, à Châlons-en-Champagne. Formation du Montien.



A91Bis Plan de 1880 de la carrière Vauthier à Courville - PHT

A89 Plan de la dernière carrière exploitée à Courville (51). Levé en 1998, et fermée en 2001 (PHT). Cette carrière, dont l'exploitation s'échelonne sur plus de deux siècles, regroupe toutes les techniques d'abattage. Le tonnage de roche extraite à la main approche le demi-million ! Cette pierre, très prisée pour la reconstruction des Maisons de Champagne, servira également à la restauration de la cathédrale de Reims et du socle de la statue de la Liberté.



A90 Abattage à la lance à Courville jusqu'en 1970 - PHT



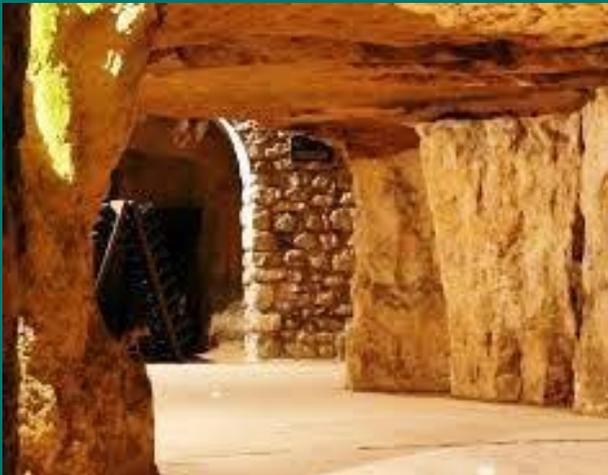
A91 Abattage à la haverse à Courville jusqu'en 2003 - PHT



A91Ter Notre Dame de Reims Restauration du portail principal en liais de Courville - PHT



A92 Caves dans les carrières du champagne PANNIER à Château-Thierry (02) - Champagne PANNIER. Formations du Lutécien.



A93 Carrières/caves viticoles creusées dans le calcaire à Fleury-la-Rivière (51) - PHT - Le souterrain est à la fois une carrière et une cave.

### 1.3.3 Réutilisation des carrières

Le nombre de réutilisations des anciennes carrières de pierre par les vigneron, dans les calcaires stratifiés du lutécien (Marne) et du jurassique (Aube), est plus limité que dans la craie du fait des paramètres suivants :

- les carrières sont souvent éloignées des villes et donc des moyens d'accès et de transports modernes ;
- les anciennes exploitations par hagues et bourrages présentent des conditions d'instabilité plus importantes à gérer que les exploitations en pleine masse ;
- l'abandon des carrières et leur manque d'entretien aboutissent à des études de confortations aux surcharges financières importantes.

Une exception concerne les caves du Champagne Pannier, à Château-Thierry, qui sont situées en zone urbaine et proche des voies de communication.

Par contre, de nombreuses caves seront creusées pour les exploitations familiales là où le calcaire affleure, comme par exemple à Fleury-la-Rivière, Villdommange, etc. La plupart des vigneron construisaient leurs maisons eux-mêmes. Le besoin en matériaux justifiait un creusement à usage mixte d'une carrière et d'une cave.



A94 A95 Carrières/caves viticoles creusées dans le calcaire à Fleury-la-Rivière (51) - PHT - Le souterrain est à la fois une carrière et une cave.

## 1.4. Les caves rurales et urbaines construites en maçonnerie pour le Champagne, les caves de l'habitat vigneron

### 1.4.1 Résumé historique

La nature du sous-sol sur lequel les habitats vignerons sont édifiés est un facteur déterminant de la présence des caves. Cependant, les villages au substrat trop meuble possèdent malgré tout des caves. Celles-ci sont alors construites en maçonnerie, et les communautés possèdent ainsi de vastes ensembles de caves aux formes variées, construites du Moyen Âge jusqu'à nos jours.

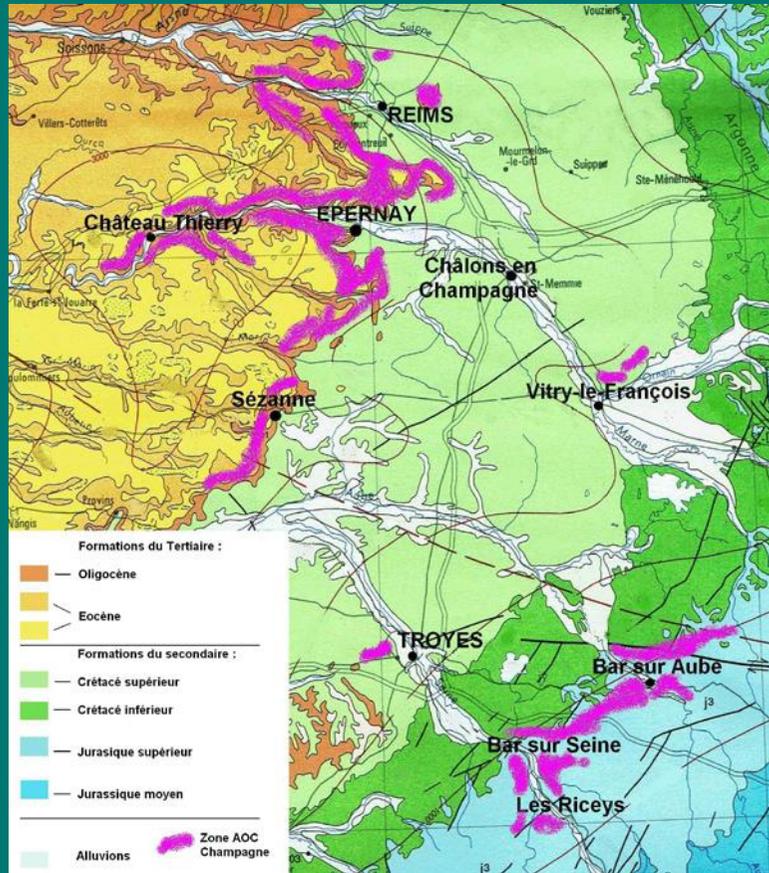
La présence de matériaux disponibles dans l'environnement immédiat pour la construction des habitations et des caves est un facteur prépondérant jusqu'au début du XX<sup>e</sup> siècle où les matériaux locaux seront rapidement remplacés par des produits d'origines internationales.

### Les formations du tertiaire

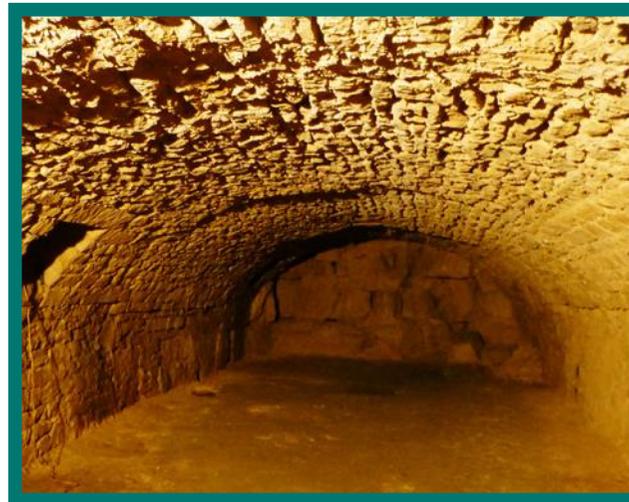
donnent des gisements de roches calcaires dures et tendres stratifiées pour la construction (Lutétien), des sables fins (Yprésien), des argiles, des terres argileuses pour les briqueteries et tuileries, et surtout des pierres meulières insensibles à l'humidité...

### Les formations du secondaire

donnent des gisements de craie à bâtir (Campanien) et pour la fabrication de la chaux, des argiles pour les briqueteries et tuileries, et des roches calcaires stratifiées dures et demi-dures pour la construction (Jurassique). On peut ainsi constater que vignes et matériaux sont très proches l'un de l'autre...



A96 Carte géologique de la Champagne et matériaux de construction - PHT sur un fond de carte BRGM.



A96Bis Cave maçonnerie en moellons de calcaire des formations du jurassique avec front de taille en fond de cave - PHT

### 1.4.2 Techniques de construction, généralités

Deux choix possibles d'implantation s'offrent au vigneron : soit une cave attenante à l'habitat (dessous ou contre), soit une cave située à l'extérieur pouvant être semi-enterrée ou creusée dans la roche.

La disposition d'une cave extérieure à l'habitat est souvent motivée par la situation des zones de gisement de matériaux nécessaires pour construire la maison du vigneron.

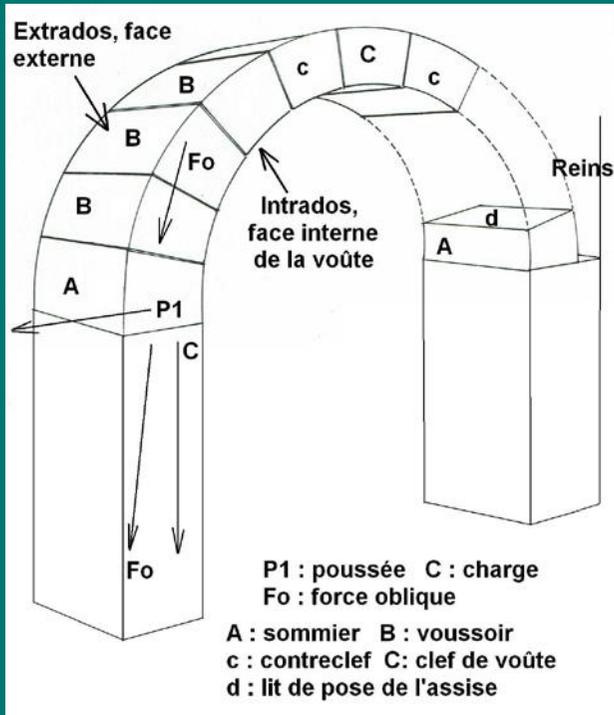
La forme de couverture des caves la plus répandue est la voûte en arc de plein cintre, quelle que soient les époques de construction. Le plan quadrangulaire demeure également une base commune à toutes les caves.

Toutes les techniques de mise en œuvre des voûtes en berceau se rencontrent : voûtes coffrées avec des moellons posés de chant, hourdés avec des mortiers de terre ou de chaux, en cliquarts posés de chant sur coffrage et sans mortier, plus soignées : en pierre de taille de grand appareil ou en briques de terre cuite...

Les techniques de construction empruntent les formules les plus abouties de chaque époque. Il est ainsi très difficile de dater les caves voûtées en berceau par leurs formes seules sans étude précise du bâti qui les surmonte. La voûte en arc de plein cintre reporte ses charges sur les piliers ou murs de soubassement.

Du fait de sa hauteur et des masses de maçonneries nécessaires, elle est limitée en portée.

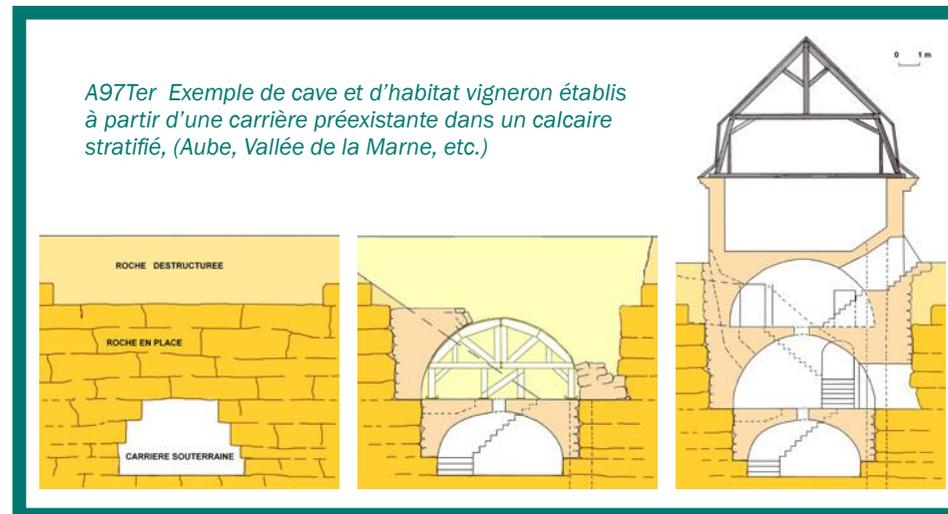
Il faut rappeler que les voûtes sont des ouvrages de couverture maçonnés utilisés dans les caves mais aussi en élévation dans les premiers niveaux. Leur comportement sera différent si elles sont enterrées ou non.



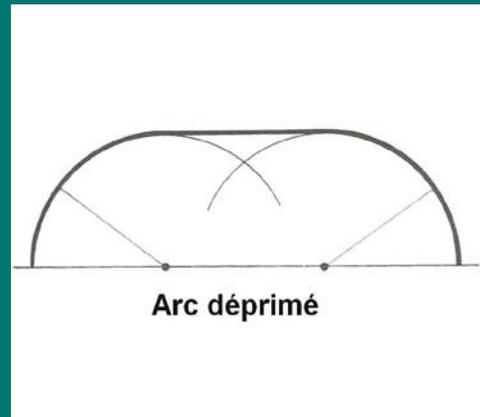
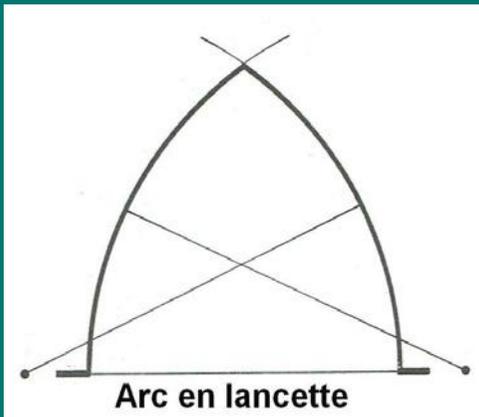
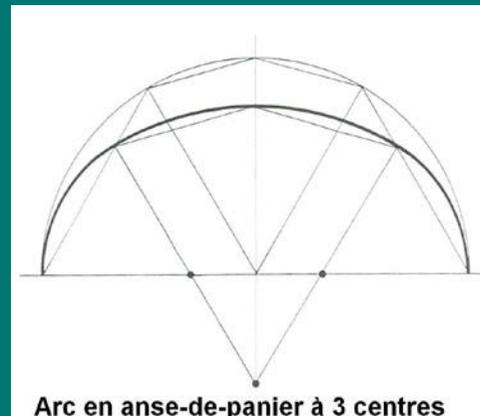
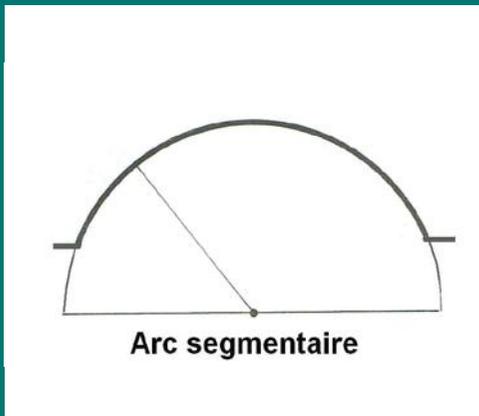
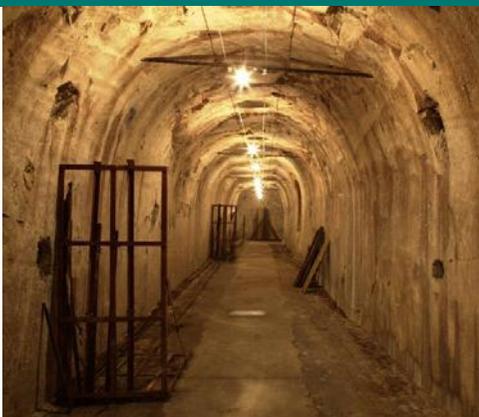
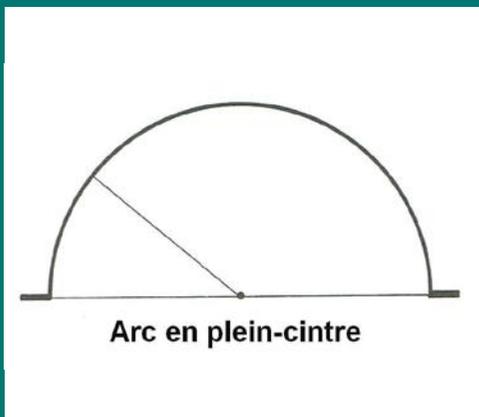
A97 Organes qui composent une voûte de plein cintre - PHT

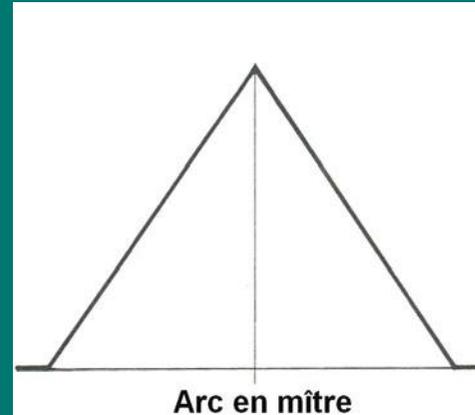
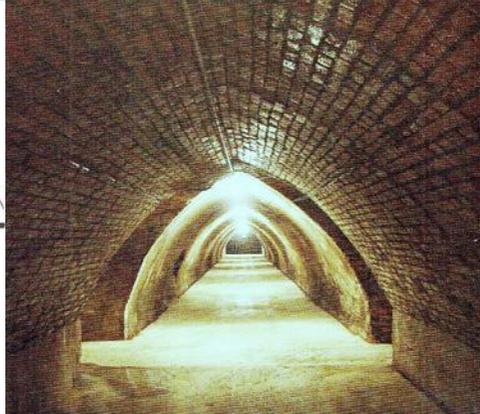
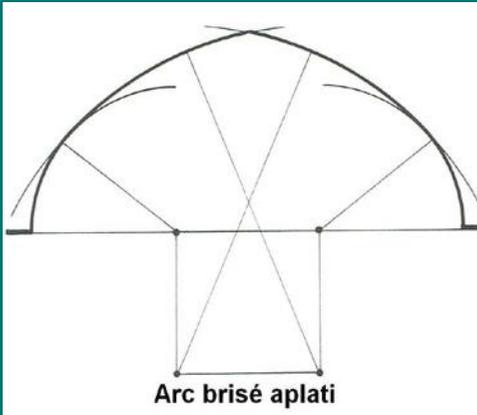
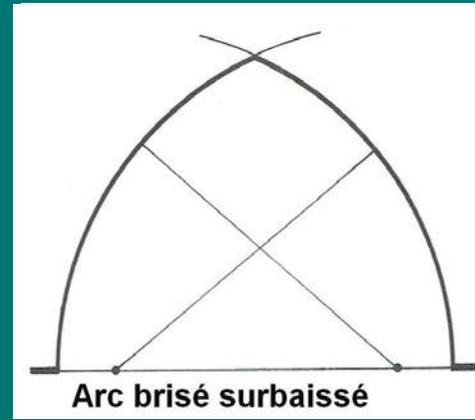
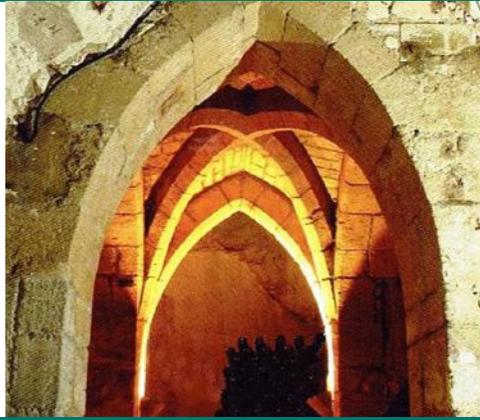
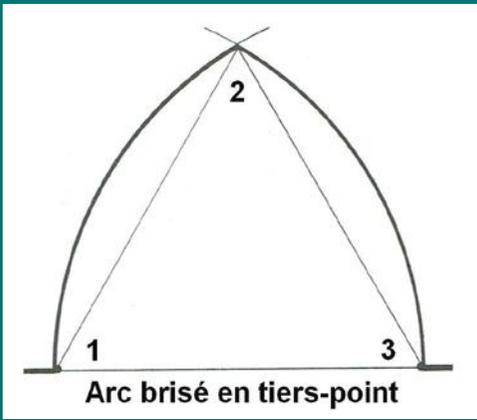


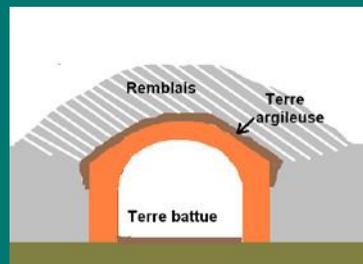
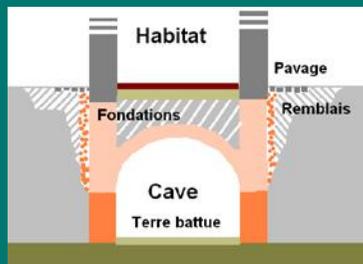
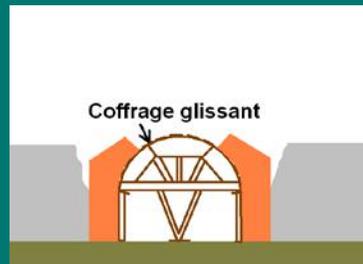
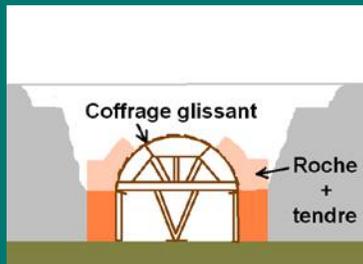
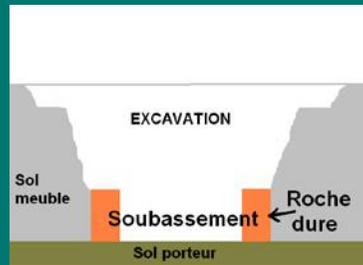
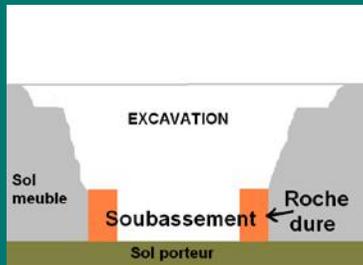
A97Bis Carrière de pierre de taille « les rougemonts », Les Riceys - Aube - ADA/FI



A98 Typologie des arcs qui composent le couvrement des caves (PHT - Clichés MG) :







A99 Principe de construction d'une cave voûtée en berceau attenante à l'habitat, la cave sert de fondation à l'habitat, ce système existe à toutes les époques - PHT

A101 Principe de construction d'une cave maçonnée semi-enterrée isolée - PHT

### Datation des caves :

retenir uniquement le profil d'une voûte pour la datation d'une cave est une erreur car tous les tracés ont été utilisés à des époques différentes. Les outils de datation sont : l'étude des archives, la prise en compte des contraintes spécifiques à chaque sites, la fonctionnalité initiale et l'étude archéologique du bâti et des substrats.

Les grandes familles de voûtes maçonnées pour les caves champenoises de l'habitat vigneron reposent sur les principes constructifs suivants (ci-contre).

A102 Quelques appareils en craie - (MG)



Moellons bruts assisés



Moellons bruts en opus incertum



Carreaux en assises régulières à joints vifs



Grand appareil et moellons égarés en craie



Assises irrégulières



... et régulières



Appareillages mixtes en assises régulières de briques et de carreaux de craie



Clef de voûte en brique



A103 Moellons équarris posés en assises irrégulières - PHT



A104 Moellons bruts posés en assises irrégulières - PHT



A105 Parements en roche meulière et caves entièrement construites en meulières sur coffrages en bois - MG



#### 1.4.3 Caves construites en moellons de craie

Dans les villages implantés dans les plaines alluvionnaires qui ne permettent pas l'extraction directe par le creusement, les matériaux proviennent des carrières de craie les plus proches situées en amont. Les blocs nommés carreaux, trézeaux, croyes sont généralement bien assisés et hourdés au mortier de terre, de graveluches de sable et de chaux. Il arrive que l'on alterne les assises de craie avec des assises de briques de terre cuite, afin de donner plus de résistance aux ouvrages par une répartition homogène des contraintes (chaînages horizontaux), dans ce cas on parle d'appareillage mixte.

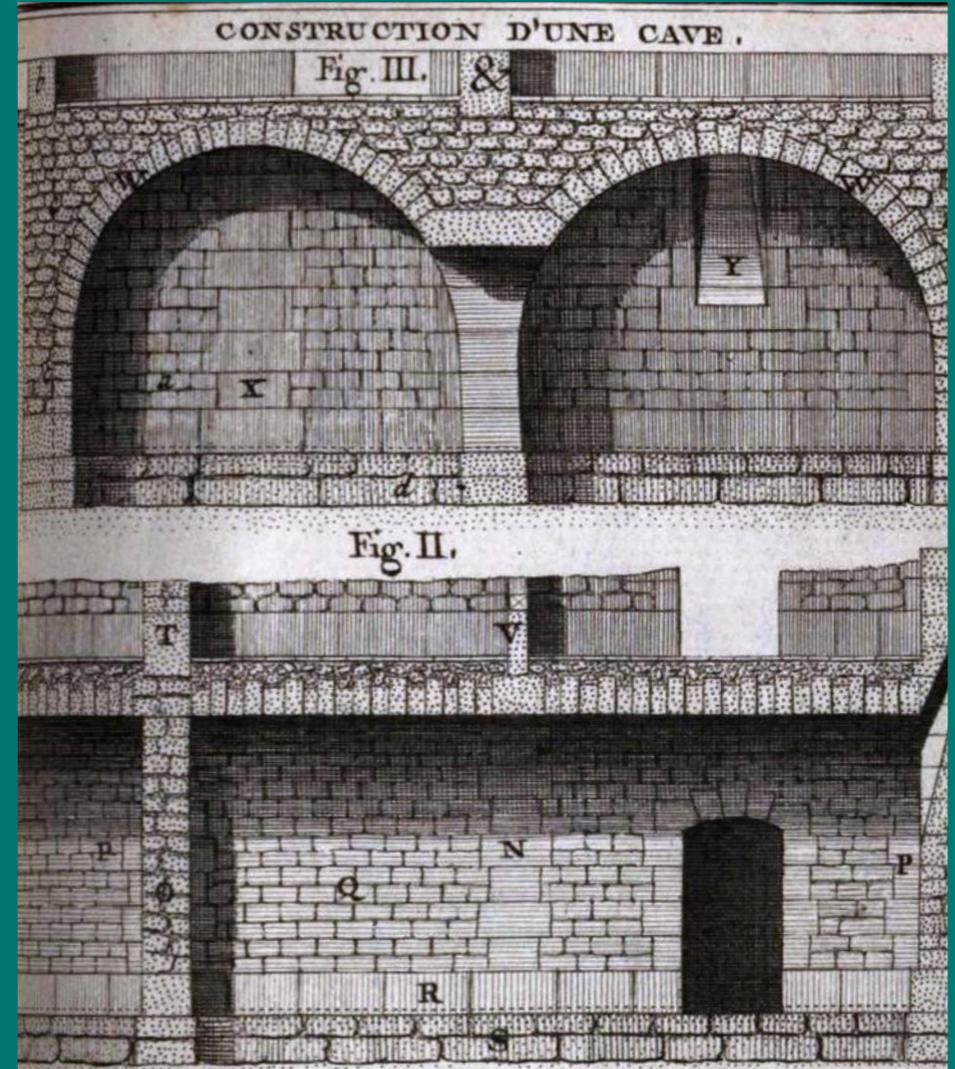
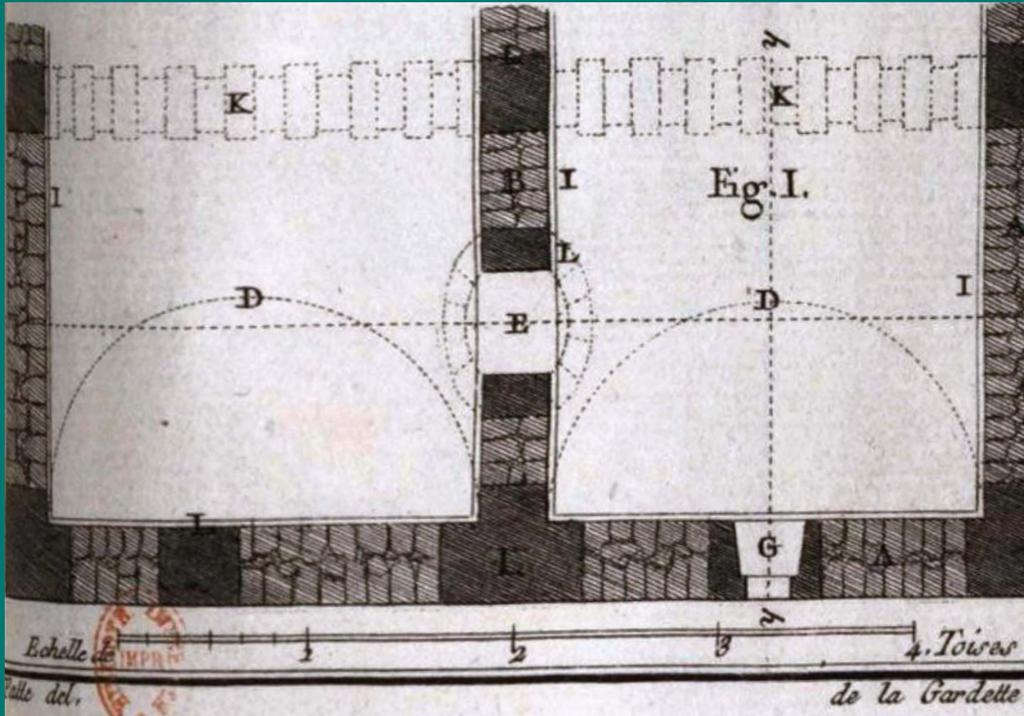
#### 1.4.4 Caves construites en roche du tertiaire (calcaires et meulières)

Comme pour les caves construites en moellons de craie, on se procure les matériaux dans les gisements les plus proches. Maçonnerie de moellons: on distingue plusieurs types d'appareils dont chacun peut comporter des variantes locales liées soit à des habitudes locales, soit aux caractéristiques des matériaux disponibles.

Les maçonneries de moellons bruts peuvent comporter deux parements formés des moellons les plus réguliers, l'intérieur du mur contenant des pierres et matériaux de toutes dimensions. On parle alors souvent de mur à double épaisseur ou mur double. Le niveau de cohésion entre les deux parements dépend de la présence de pierres taillées qui traversent l'épaisseur du mur (connecteurs). Les désordres sont souvent causés par une désolidarisation des deux parements. Le nombre de connecteurs détermine la solidité des ouvrages.

Les maçonneries de moellons assisées sont exécutées comme les maçonneries de moellons bruts mais par assises horizontales dont les hauteurs peuvent être régulières ou irrégulières. En principe, dans ces maçonneries, l'épaisseur des joints doit être régulière et réduite de 1 ou 1,5 cm à 2 ou 3 cm selon la finesse de taille des moellons. L'épaisseur des murs en moellons varie suivant le nombre d'appareils ou de couches dans l'épaisseur.

Le mortier de pose, ou mortier de hourdage est composé d'un mélange de chaux hydraulique et de sable, avant l'invention du ciment de Portland. On utilise également de la terre mélangée au sable pour les plus petites caves. Des chaînages verticaux ou raidisseurs, réalisés en pierre de taille ou en brique, contribuent à la stabilisation des ouvrages en rythmant les procédés constructifs.

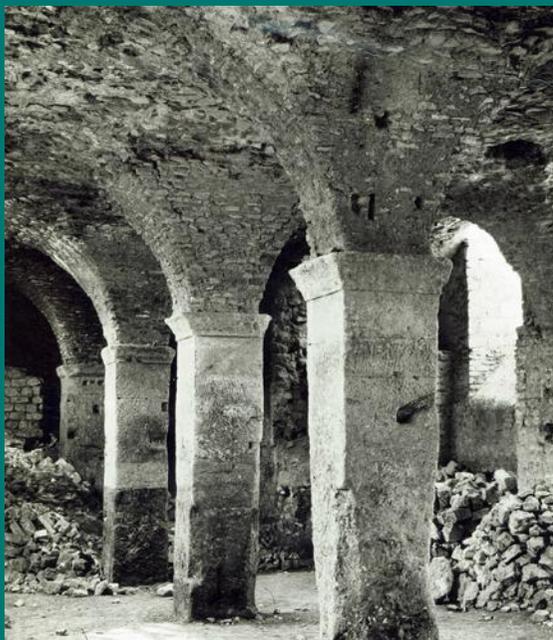


A106 Construction d'une cave sous l'habitat par Jean-François Blondel au XVIII<sup>e</sup> siècle - BNF

A,B : maçonneries de remplissage en moellons équarris, D : voûte de plein cintre, E : passage entre cintres, G,Y : soupirail,

K : raidisseur de la voûte, L : pieds droits, M : murs de façade, N,X : raidisseurs en pierre de taille (chaînages verticaux), P : chaîne d'angle,

Q : maçonnerie en assises régulières, R : maçonneries de soubassement en pierre de taille, S : fondations, W : voûte en appareil régulier, T : mur de refend au RDC, V : cloison de refend au RDC



A107 A108 Le  
cryptoportique  
en 1961  
(Bernard  
Tourtebatte  
- Agréé en  
Architecture) et  
en 1980 - PHT

#### 1.4.5 Caves construites en brique de terre cuite

L'usage massif de la brique en terre cuite dans la construction champenoise est connu depuis l'Antiquité par le bâtiment souterrain le plus imposant de la Champagne, et unique en Europe: le Cryptoportique de Reims.

S'agit-il d'une cave, d'un lieu de stockage et de ventes publiques ou tout à la fois ? La question fait toujours débat.

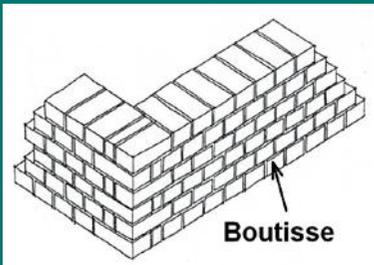
Réalisé avec un couvrement à base de briques de terre cuite et de roches calcaires, cet édifice dispose d'un oratoire, d'un escalier d'accès monumental et d'une surface d'occupation importante et centrale dans la ville gallo-romaine.

Des enduits aux décors sobres couvraient les parements intérieurs et de nombreuses amphores furent découvertes au cours des fouilles archéologiques dans les années 1970. Des boutiques furent installées plus tardivement, proches de la surface, à l'emplacement du futur marché de Reims qui existera jusqu'à la première guerre mondiale.

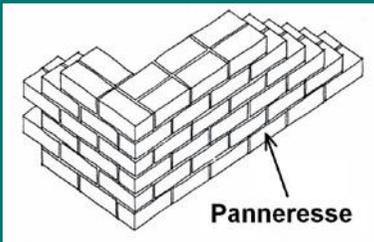
Les Romains ont fait usage de la brique pour les assises des chaînages horizontaux dans les murs et pour le béton des voûtes constitué par de la brique concassée avec un liant et des agrégats. Ce béton a été coulé et compacté sur des coffrages en bois pour former le couvrement visible de nos jours, qui repose sur d'imposants piliers carrés en roche calcaire.

La brique concassée apporte une résistance mécanique et une prise hydraulique aux mortiers de chaux, tout en permettant une évaporation de la vapeur d'eau due à l'humidité inévitable dans les ouvrages enterrés ou semi-enterrés (combinaison des silicates et des aluminates avec la chaux aérienne qui forme un liant hydraulique).

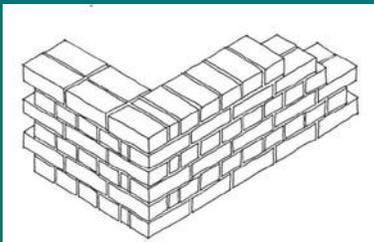
Vitruve, au II<sup>e</sup> siècle avant J.C., décrit le fonctionnement de ces constructions dans le seul traité complet de la construction antique parvenus jusqu'à nos jours: «les dix livres d'architecture». Le Cryptoportique dispose également d'un doublage de murs anti-humidité tel que décrit dans le traité de Vitruve.



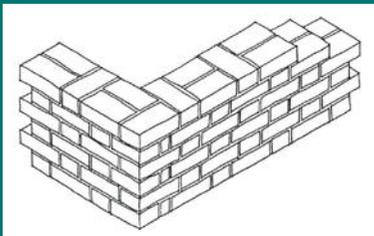
A109 typologie des appareils en briques de terre cuite (dessins pht - clichés mg)



A110 Appareil en panneresse



A111 Appareil anglais (1 rang en boutisse, 1 rang en panneresse)



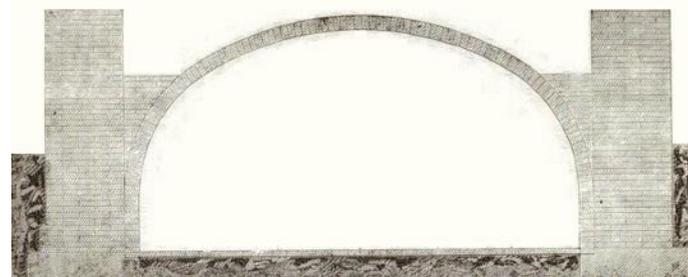
A112 Appareil flamand

Dans toute maçonnerie de brique, les différentes assises sont composées de briques tantôt parallèles et tantôt perpendiculaires au parement du mur. Dans le premier cas, la brique se voit en longueur dans l'élévation et s'appelle alors brique panneresse ; dans le second cas, on ne voit la brique qu'en largeur et elle s'appelle alors brique boutisse. L'épaisseur d'un mur en brique sera donc toujours un multiple de la largeur d'une brique.

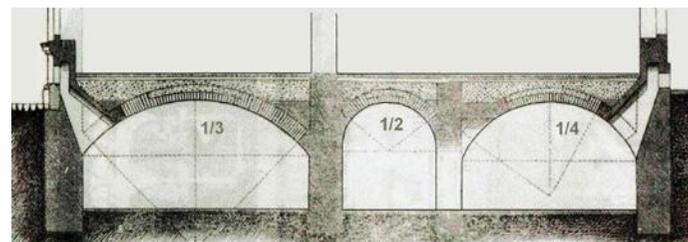
Les règles de mise en œuvre consistent à :

- éviter d'une manière absolue qu'il y ait continuité des joints montants dans deux assises consécutives ;
- disposer le plus grand nombre possible de briques boutisses à l'intérieur du mur et leur donner un recouvrement égal à la demi-largeur ou demi-longueur d'une brique ;
- employer le plus possible de briques entières et faire alterner en élévation les assises en briques boutisses avec celles en briques panneresses ;
- rendre l'interruption des joints montants de la maçonnerie aussi complète que possible.

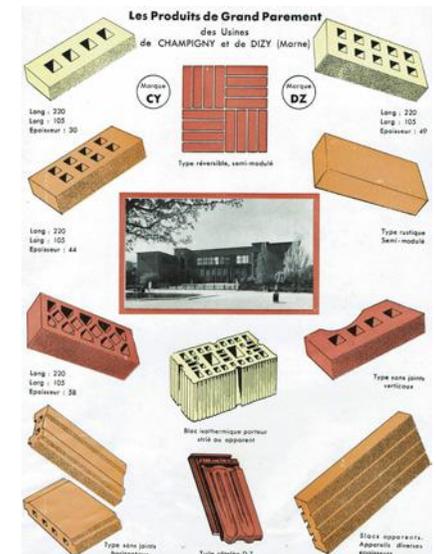
Il existe une multitude d'appareils ayant chacun leur dénomination qui répondent à ces conditions. La connaissance des appareils permet de déterminer l'épaisseur des murs et d'évaluer leur résistance.



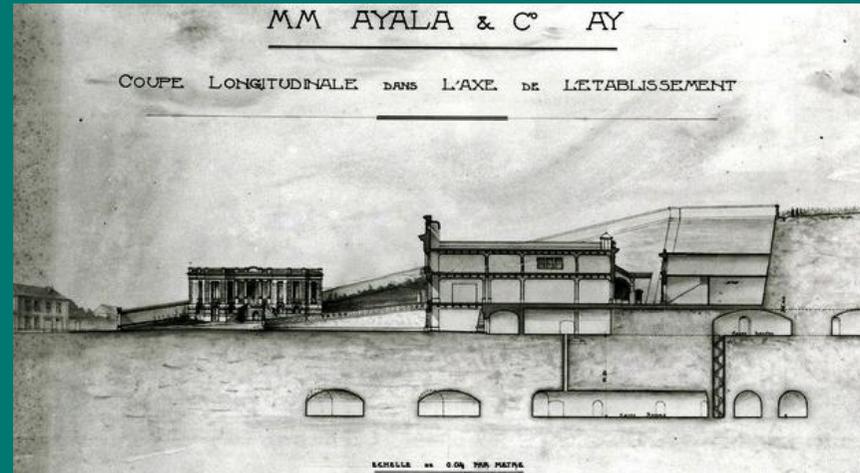
A113 Profil d'une cave en brique - Traité d'architecture civile 1880 BNF



A115 Caves voûtées en arc segmentaire et en plein cintre - Traité d'architecture civile 1880 BNF



A114 Briques produites à Dizy et Champigny jusqu'en 1979 (51) - PHT



A116 Reims - Caves voûtées en plein cintre et en arc segmentaire détruites en 2000 - PHT



A117 A118 Epernay - Construction des caves de la Maison de Champagne AYALA en 1911 - SIRGE

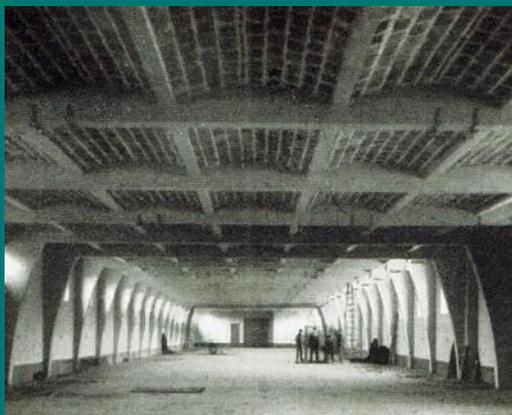
Maçonneries composées de grands appareils en pierre de Savonnières-en-Perthois, refends en meulières. Utilisation de la brique de terre cuite pour les caves et les encadrements de baies.



A119 Celliers en béton armé à Epernay - ADM/FI



A120 Cuves en ciment armé - ADM/FI



A121 Reims - Maison Clicquot - Celliers en béton avec plancher en hourdis de brique de terre cuite 1930 - PHT

### 1.4.6 Caves construites en béton

Au début du XIX<sup>e</sup> siècle, on invente le ciment de Portland, liant hydraulique ayant une résistance à la compression élevée, mais une faible résistance à la traction. Le mélange de cailloux, de sable et de ciment de Portland (béton) doit alors être renforcé par la disposition de tige d'acier (armatures) pour donner naissance au ciment armé puis au béton armé qui cumule les résistances à la compression, à la flexion et à la traction.

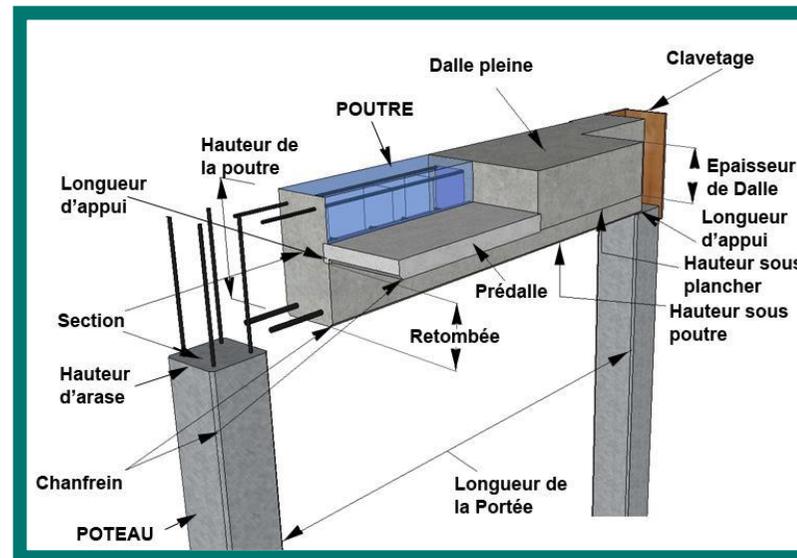
Au XX<sup>e</sup> siècle, l'usage du béton permet la réalisation d'ouvrages de grandes dimensions avec des voûtes à grande portée et des planchers supportant de lourdes charges.

Ce n'est cependant que vers 1900 que le béton armé remplace peu à peu les structures métalliques dans la construction d'ouvrage de génie civil. Les premières théories des calculs statiques apparaissent 30 ans plus tard.

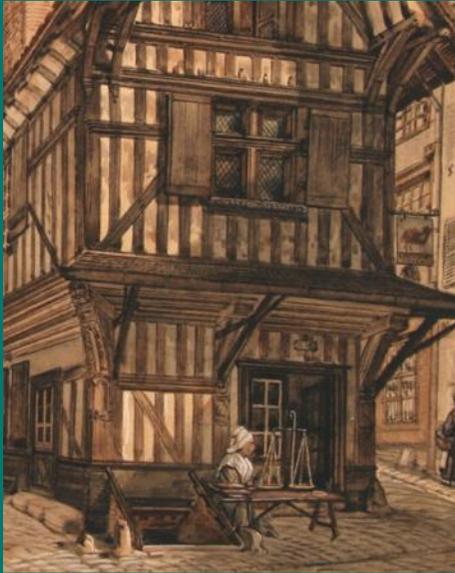
Une nouvelle technique de construction des caves est née où les structures porteuses sont associées aux cuves de grandes dimensions.

Le béton est obtenu par un mélange de ciment (environ 300 à 400 kg par m<sup>3</sup> de béton), de sable et de graviers, le tout additionné de 150 à 175 litres d'eau. Il existe plusieurs sortes de ciment offrant des caractéristiques différentes. Le plus usuel est le ciment de Portland.

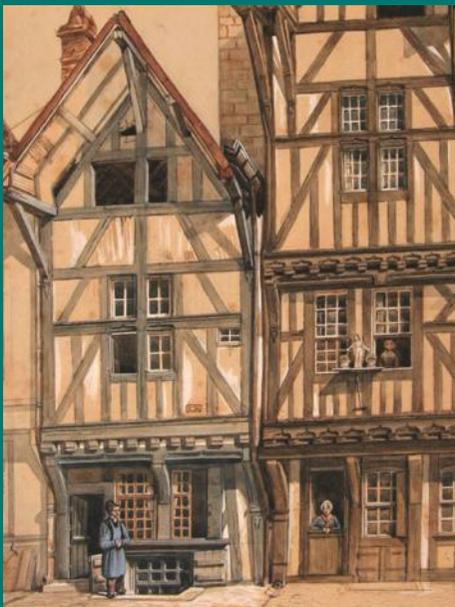
Cette invention permet de simplifier les structures par l'usage exclusif d'un système constructif nommé « poteaux/poutres ».



A118 Principe du système « poteaux/poutres » - PHT



A122 A123 Troyes - Entrées de caves au XIX<sup>e</sup> siècle d'après les gravures de Fichot - ADA/FI



## 1.5. Les caves médiévales en Champagne, un exemple : l'Aube

### 1.5.1 Résumé historique.

Moins impacté par la Première Guerre mondiale, le département de l'Aube dispose d'une architecture médiévale relativement bien conservée et trop méconnue.

Les études ponctuelles montrent que les caves médiévales existantes y sont encore nombreuses, ainsi que des celliers monastiques.

### 1.5.2 Typologie des caves médiévales de Troyes

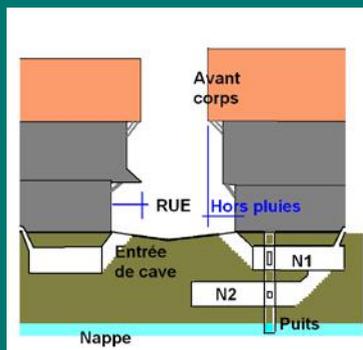
Caves et celliers se confondent dans la terminologie médiévale. Fréquemment employé pour nommer les caves dans les textes des XII<sup>e</sup> et XIII<sup>e</sup> siècles, le terme *cellarium* (cellier) désigne une fonction de stockage de denrées qui ne se rapportait peut-être pas systématiquement à une cave spécifique à la vinification.

Les termes employés dans les sources médiévales sont donc d'une interprétation difficile : le cellier n'est pas nécessairement en sous-sol et le souterrain n'est pas forcément une cave. L'examen des structures ne permet pas de circonscrire davantage la définition de ces espaces, tant les formes des caves et leurs usages sont multiples. Le département de l'Aube a la particularité d'avoir des celliers monastiques spécifiques aux vins.

Les caves urbaines et rurales médiévales sont soigneusement conçues afin d'être à l'abri de l'humidité et sont intimement liées au bâti d'élévation pour la mise hors d'eau, et à la rue pour leur utilisation.

L'avant-corps ou le débordement de toiture important de la maison à pans de bois médiévale protège des pluies les entrées de caves.

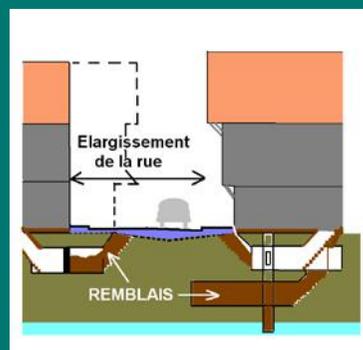
L'entrée de la cave est obturée par un système de portes à double volets disposé soit par le dessus, soit à l'aplomb de la façade. Une fois ouverts, les volets/portes sont fixés par une barre et servent de garde-corps.



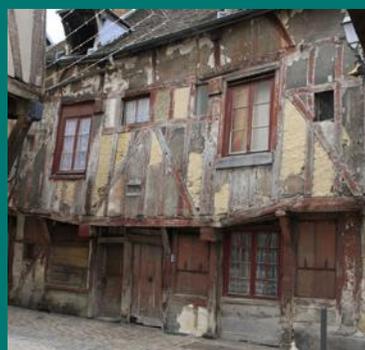
A124 Troyes - Etat initial des caves urbaines - PHT



A125 Troyes - Affaissements dues aux caves « oubliées » - PHT



A126 Troyes - Etat actuel des caves urbaines - PHT



A127 Troyes - Affaissement - PHT



A128 A129 Bars-su- Aube - Effets du manque d'aération des caves et de la condamnation des accès: moisissures et affaissements - PHT



Les caves serviront de logement, d'atelier, de lieu de stockage des toiles en plus de réserve à vivres et à vins.

Le moellon de craie et les briques forment le couverture des caves, parfois le premier niveau est séparé du rez-de-chaussée uniquement par un plancher en bois.

La pierre de taille plus dure sert à l'établissement des organes porteurs. La voûte de plein cintre est largement utilisée. Des ramifications sont créées entre les caves afin de faciliter les échanges à l'abri des regards...

Un service de la défense passive fera en 1938 l'inventaire des caves susceptibles de servir d'abris en cas de bombardement.

Un, deux ou trois niveaux se succèdent sous l'habitat, avec la plupart du temps un puits mitoyen qui communique à tous les niveaux pour la ventilation et qui peut servir de monte-charge.

Des soupiraux sont construits aux extrémités des ouvrages pour l'aération et la régulation hygrothermique

Les temps modernes, avec l'élargissement des voies pour les transports, vont perturber ce système constructif.

La cave devient un espace subalterne remplacé par le frigo pour la conservation des aliments. Les accès et les soupiraux sont obturés. Au cours des travaux d'aménagement, les caves basses sont remblayées pour économiser les frais de charroi, ainsi que les puits car l'eau courante de la concession est installée.

La principale conséquence de cet abandon du sous-sol est la sur-humidification progressive et pernicieuse des ouvrages qui vont se dégrader en quelques décennies.

Cette dégradation forme des désordres structuraux dans les parties supérieures des ouvrages qui s'affaissent ou s'effondrent. La vétusté, qui est en réalité un défaut d'entretien, devient ensuite un alibi pour la démolition de ce patrimoine.

Cependant, les motifs d'abandon ne sont pas nouveaux, tels que le comblement des caves ordonné au XVI<sup>e</sup> siècle suite aux incendies qui ravagent certains quartiers de la ville non reconstruits.



A132 Abbaye de Clairvaux - PHT



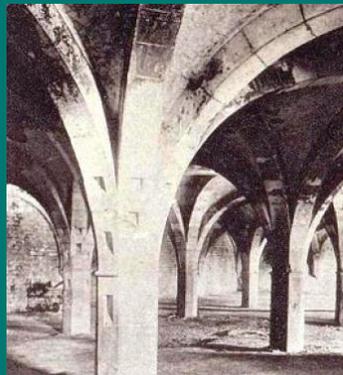
A131 Cellier de Colombé-le-Sec - PHT



A132 Cadastre de 1813 - Colombé-le-Sec - ADA/CN



A133 Colombé-le-Sec : le cellier de nos jours - MG



A134 Le cellier vers 1960 - ADA/FI

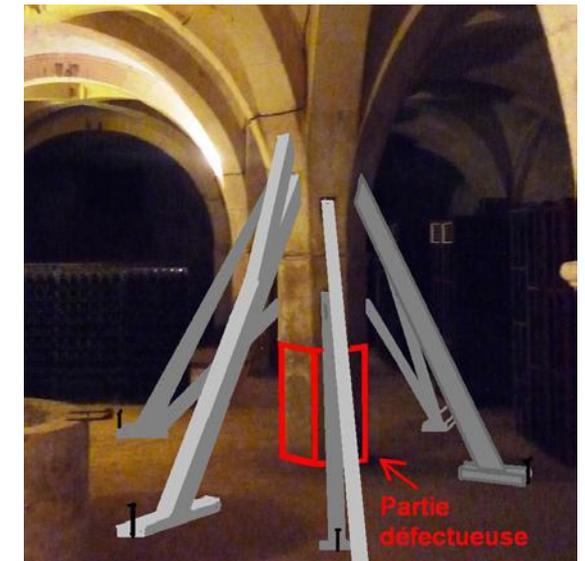
Parmi les ouvrages monastiques de l'Aube, le cellier de Colombé-le-Sec est un monument remarquable édifié par l'ordre cistercien. Il se compose de trois vaisseaux avec huit travées sur croisées d'ogives massives de section carrée qui reposent sur des piliers octogonaux sans décors et des culots pour les murs périphériques.

Un puits se trouve au centre. L'accès s'effectue par un avant-corps de plain-pied et l'étage servait à la vinification (pressoir). Un logis et une chapelle complètent l'ensemble qui dépendait de l'abbaye de Clairvaux.

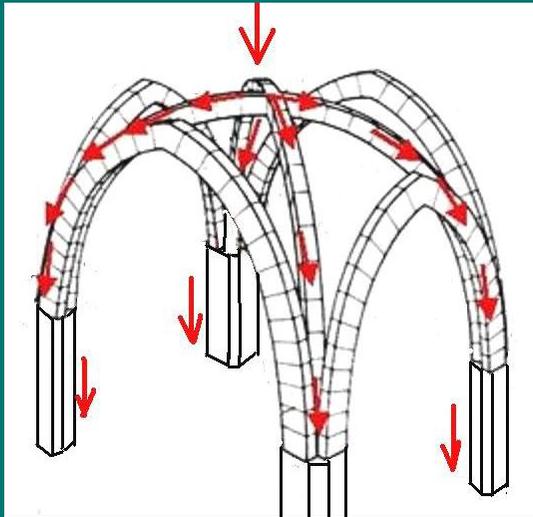
Sa construction débute en 1215 pour être terminée vers 1219. (Etude de M. Chauvin - « Le cellier de Clairvaux à Colombé-le-Sec - Annales de l'Est, n° spécial 2013, p.109 - 198).

L'architecture du cellier est identique à celle de l'aile des convers de Clairvaux (Aube) et n'est pas sans rappeler la croisée d'ogives existante de confortation effectuée par les moines bénédictins de Saint-Nicaise à Reims, en liaison avec le pressoir médiéval situé au-dessus.

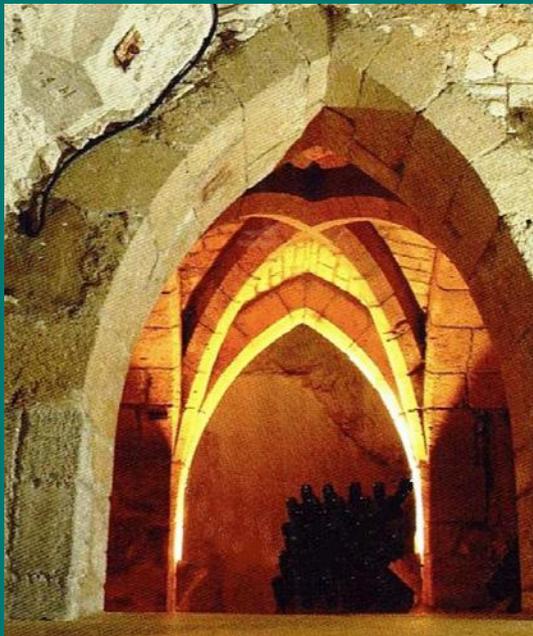
Le sous-sol de la ville de Bar-sur-Aube dispose également de celliers semblables.



A135 A136 Restitution des étaitements de reprise en sous-œuvre d'un pilier - PHT

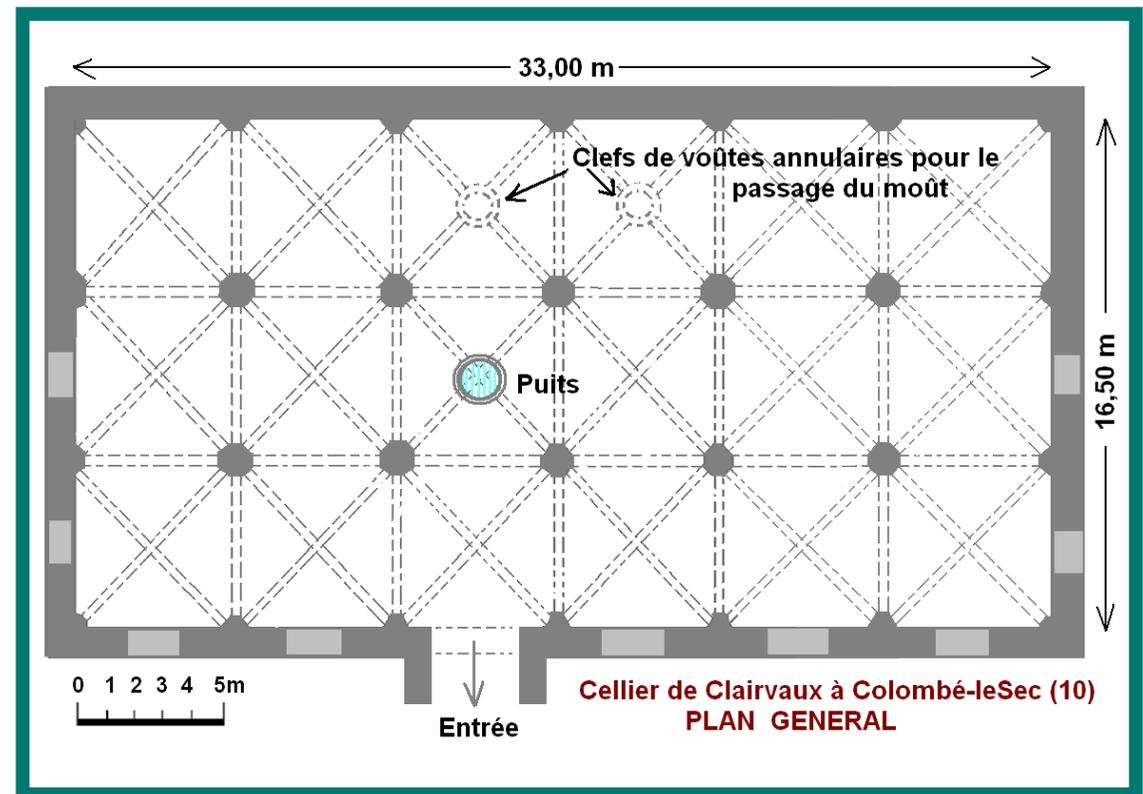


A137 Répartition des contraintes dues aux charges - PHT



A138 Reims Maison Taittinger voûte du XII<sup>e</sup> siècle - PHT

Plusieurs bases de piliers, abîmées par l'humidité, ont été reprises en sous-œuvre à une époque indéterminée, comme nous l'indiquent les mortaises obliques taillées dans les claveaux. Ces organes porteurs reçoivent le maximum des contraintes exercées sur la croisée d'ogives. Cette partie des ouvrages est donc à surveiller particulièrement, les indices prémonitoires des désordres sont un effritement et des microfissurations des maçonneries qui constituent la base des ouvrages.



A138Bis Plan général du cellier cistercien situé sur la commune de Colombé-le-sec (10). Ce cellier dispose d'un système de passage des moûts aux sommets des voûtes ; Le système de couverture avec des arcs doubleaux massifs est également présent dans les caves de Bars sur Aube (10) ainsi que dans l'architecture bénédictine - PHT

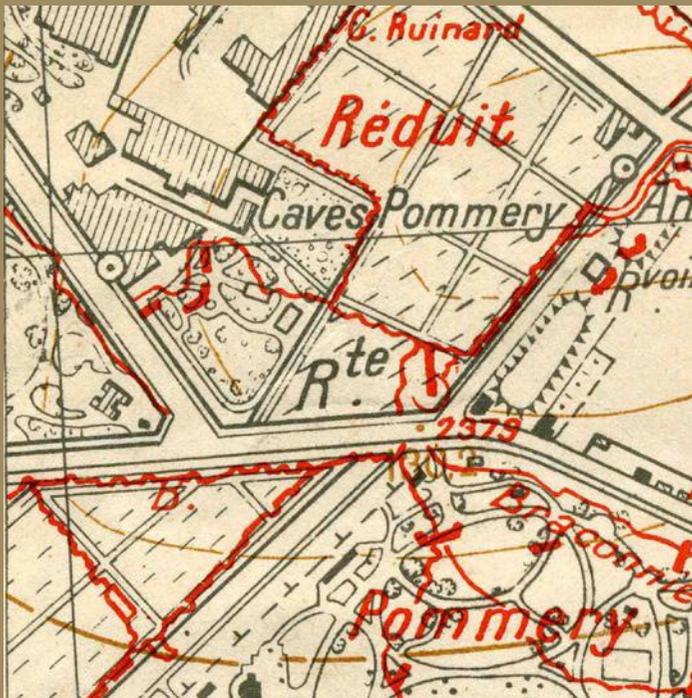
## **CHAPITRE B**

---

### **Prévoir pour agir**

## 2. CONNAISSANCE DES OUTILS DE LOCALISATION, D'INVESTIGATION ET DE CONFORTATION

Systeme Lambert **SECRET** N° 216  
A ne pas emporter en 232 lignes



B138 Exemples de cartes d'état major de 1917  
échelle 1/10000° au 1/25000°

### 2.1. Savoir établir une cartographie historique

#### 2.1.1 Plan de synthèse des données iconographiques existantes

La première phase consiste à localiser la présence de caves connues et supposées sur un plan parcellaire cadastral avec les indications topographiques connues.

#### 2.1.2 Localisation par étude iconographique et données existantes :

Ensuite, on cherche à connaître les variations nominatives des lieux en fonction des époques : micro toponymes, noms de rues, par l'étude de documents tel que le cadastre « napoléonien » (+/-1840), les plans d'alignement de terriers des archevêchés, les cartes d'état-major (+/-1880) et les plans de toutes époques, etc.

On dresse ensuite la liste des données collectées qui vont permettre d'affiner la recherche auprès des fonds d'archives départementales et municipales.

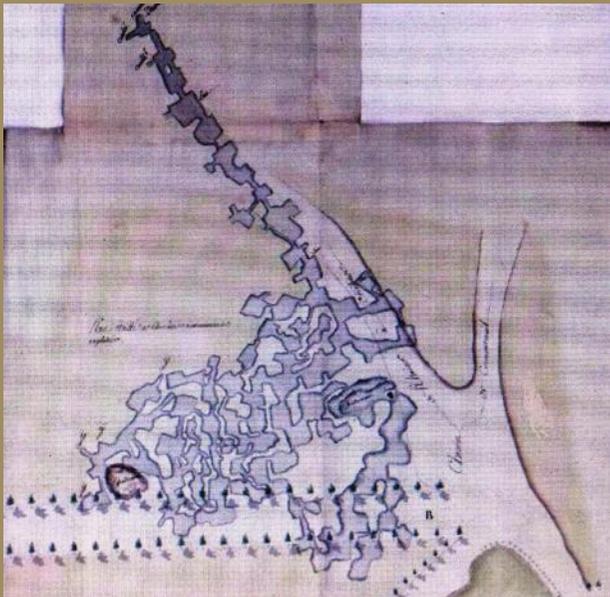
Il est également utile de consulter le site de la Bibliothèque Nationale qui recense toutes les monographies locales (base Gallica) et les bases de données archéologiques (base Persée). Pour la Marne, particulièrement impactée par la Première Guerre mondiale, une recherche auprès du Service Historique de la défense (SHD).

On reporte ensuite sur un plan de synthèse précis les données iconographiques recueillies.

La réalisation d'un plan de synthèse des données existantes est fondamentale pour établir une stratégie d'investigation géophysique, cette étape est trop souvent négligée dans les études géotechniques. Elle permet de faire des économies non négligeables sur les moyens futurs de reconnaissance à employer grâce à la réalisation d'un maillage de sondages optimisé.



B139 Reims - Extrait du plan de 1777 - Colline Saint-Nicaise - ADM/FI cotes C4007 1 à 5



B140 « Plan de la partie de route de Châlons à Reims... Ce plan a été levé et dessiné par les sieurs Lefevbre et Barthelemy en juillet 1777... » ADM/FI cotes C4007 1 à 5

Les sources archivistiques qu'il faut impérativement consulter en préalable avant toute étude sont :

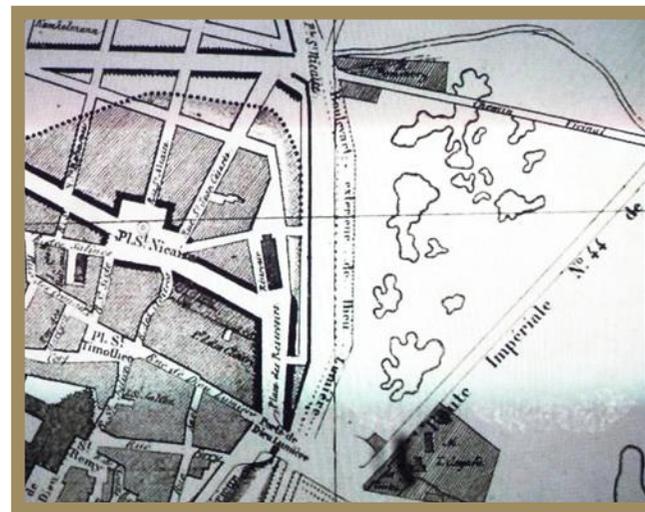
- les archives départementales avec le cadastre napoléonien (1830 à 1850) ;
- les archives municipales ;
- les médiathèques ;
- le site de la Bibliothèque Nationale « Gallica » ;
- etc.

### 2.1.3 Un exemple : les effondrements survenus en 1777 et 1780 dans la colline Saint-Nicaise :

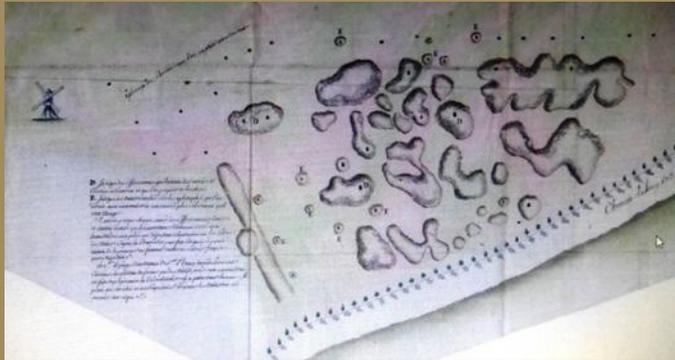
Texte de 1777 :

« La route et ses abords près la route Dieu Lumière sont cavés en dessous par de semblables carrières qui s'étendent jusqu'à la rivière neuve du côté du château d'eau et qui contiennent plus d'un quart de lieue en carré. Ces carrières sont suivant toutes les apparences aussi anciennes que la Ville de Reims. La partie haute de cette ville du côté de St. Nicaise est aussi cavée, un carrier fort âgé rapporte qu'il a vu construire cette route avant le sacre de Louis XV et qu'en formant les fossés on a découvert plusieurs de ces voûtes qui forment les aphorages des carrières. On reconstruisit alors ces petites voûtes quelques pieds plus bas que le fond des fossés et cela n'empêcha point de construire la route sur un quart de lieue de semblable carrière. »

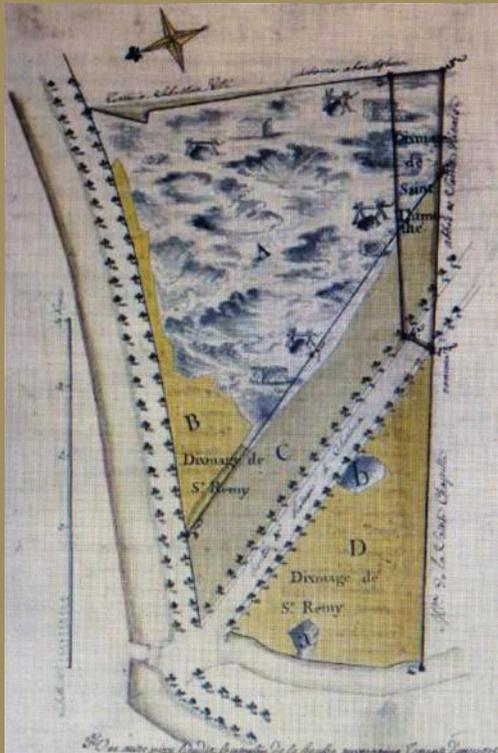
Note : 1 quart de lieue au carré représente environ une surface de 100 hectares. Aphorages ou afforage : départ du forage (avant-forage) de la crayère. Ce texte est très important car il semble corroborer la présence de crayères avant les aménagements du fossé des remparts de cette partie de la ville.



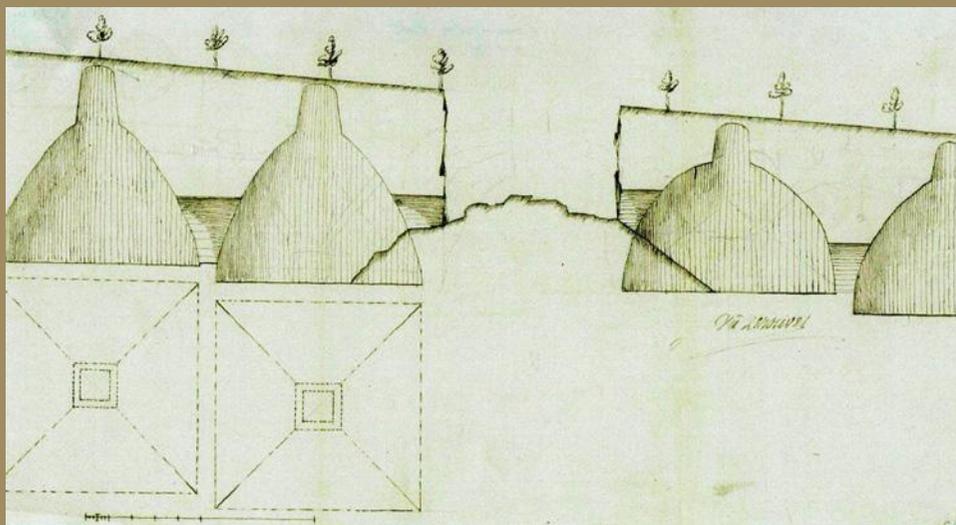
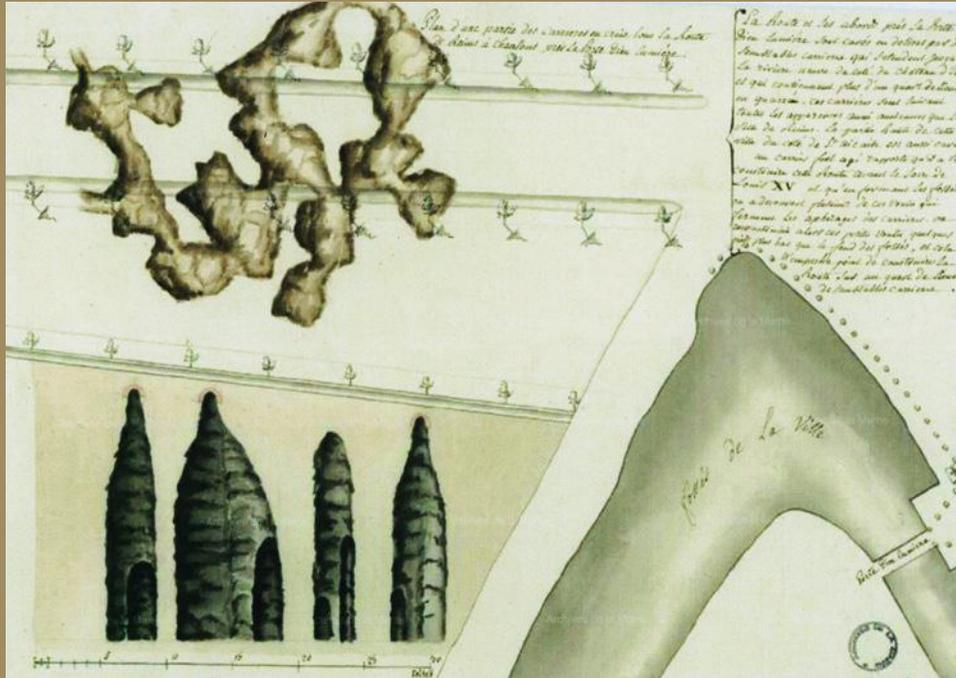
B1401 Le site des crayères de Reims en 1819 - AMR



B141 Reims - Extrait du plan de 1777 - Secteur Nord/Ouest - ADM/FI



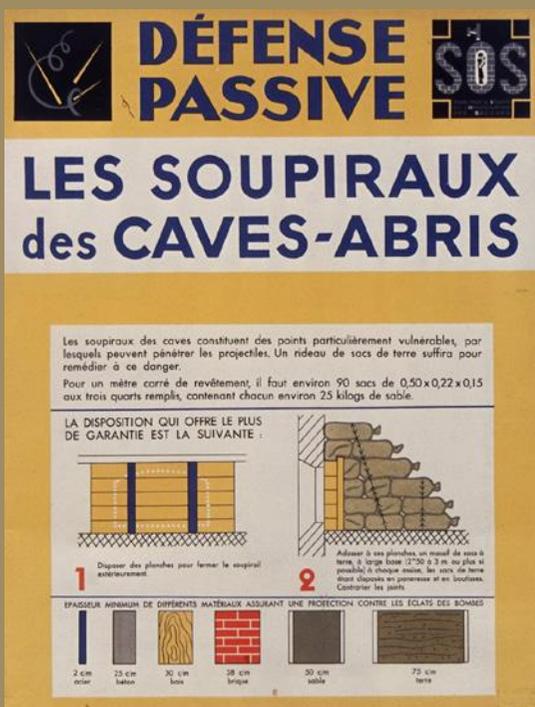
B142 Reims - Plan du dixme de Saint-Remy XVIII<sup>e</sup> siècle - Site du château des crayères - ADM/FI



B143 B144 Reims - Coupe de l'effondrement survenu en 1777 - Route de Châlons - ADM/FI



B146 Puits de sortie de secours sous une rue à Reims avec abris - PHT



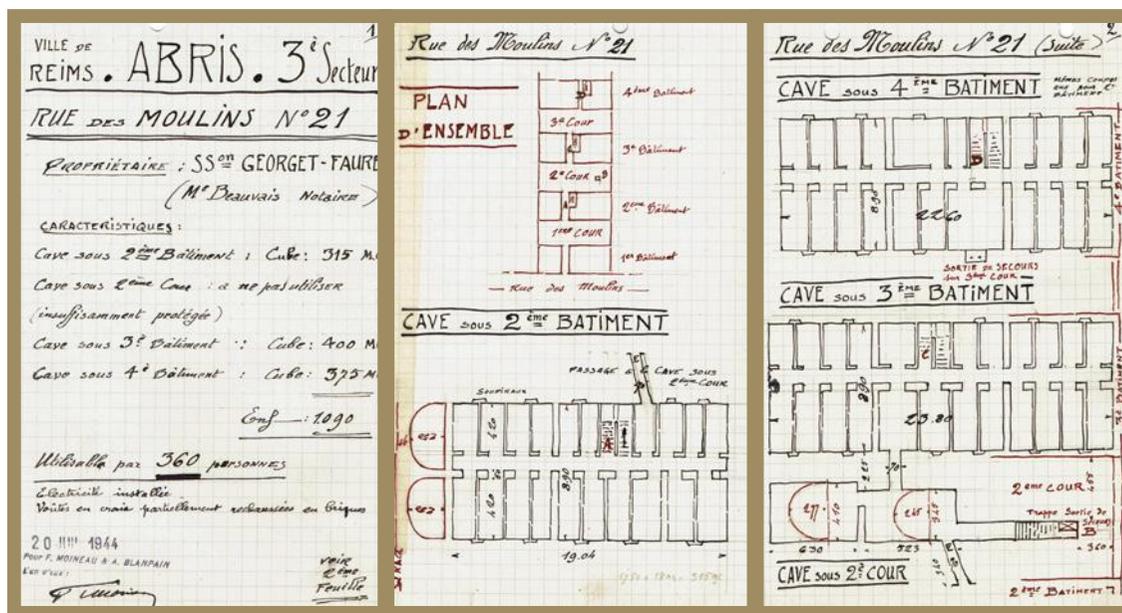
B147 Affiche sur la protection des soupiraux 1944 - BNF

### Le cas particulier des inventaires des commissions de la défense passive (villes de Reims et de Troyes).

Au cours de la Seconde Guerre mondiale, des comités chargés de la défense passive ont été mis en place afin de réaliser un inventaire des cavités susceptibles de servir d'abris aux populations civiles (et militaires) en cas de bombardement. Toutes les grandes villes de l'Est et du Nord disposaient de ces organisations composées le plus souvent par des architectes qui connaissaient bien leurs villes et qui ont réalisé des relevés des caves concernées.

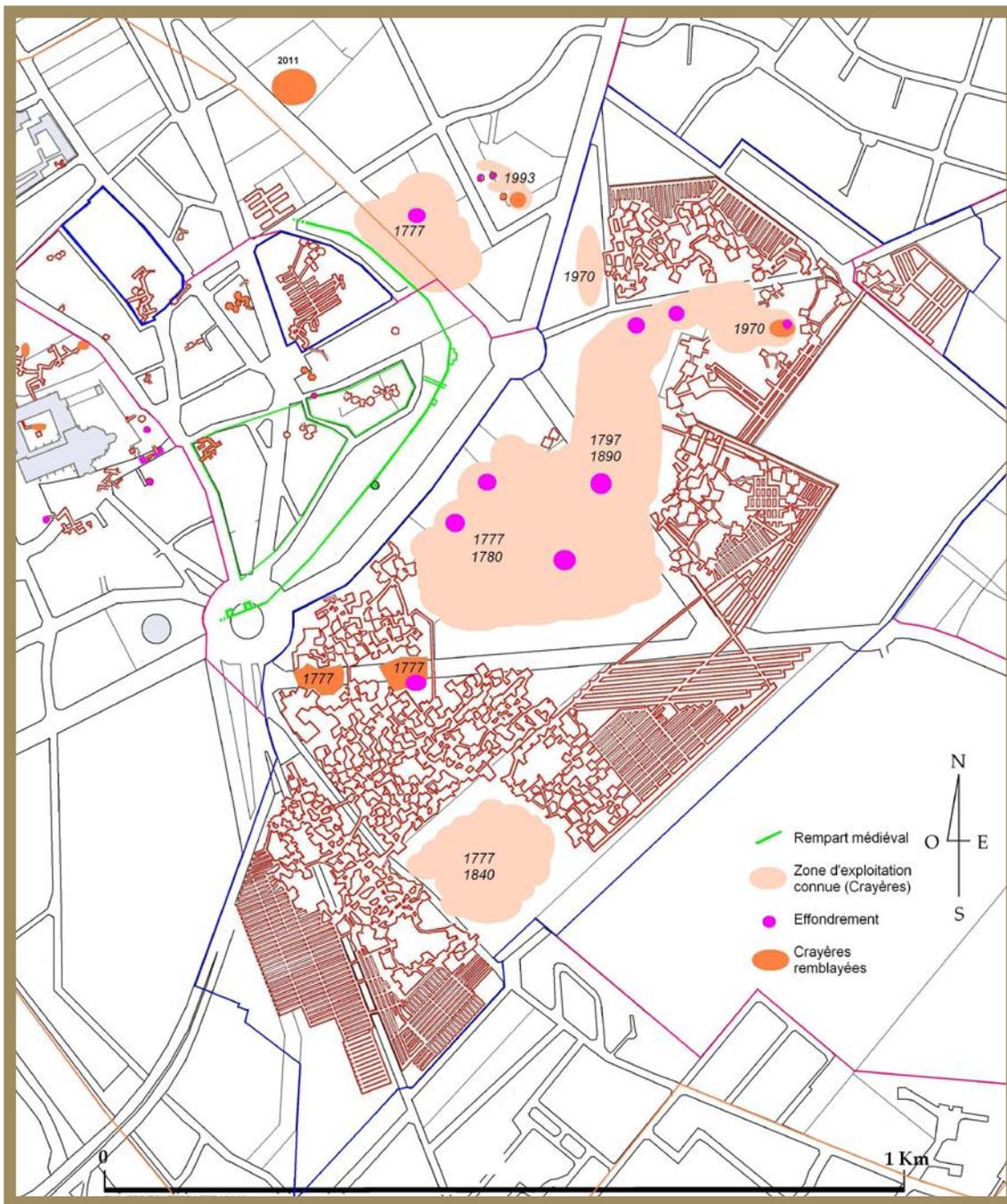
Ces données sont utiles à la détermination de l'état de certaines caves et sont conservées dans le meilleur des cas par les services des archives municipales, et dans d'autres cas par les ayants droit des cabinets d'architectes. Elles permettent également de retrouver des caves oubliées.

Des aménagements furent réalisés, tels que des puits et sorties de secours en cas d'effondrement.



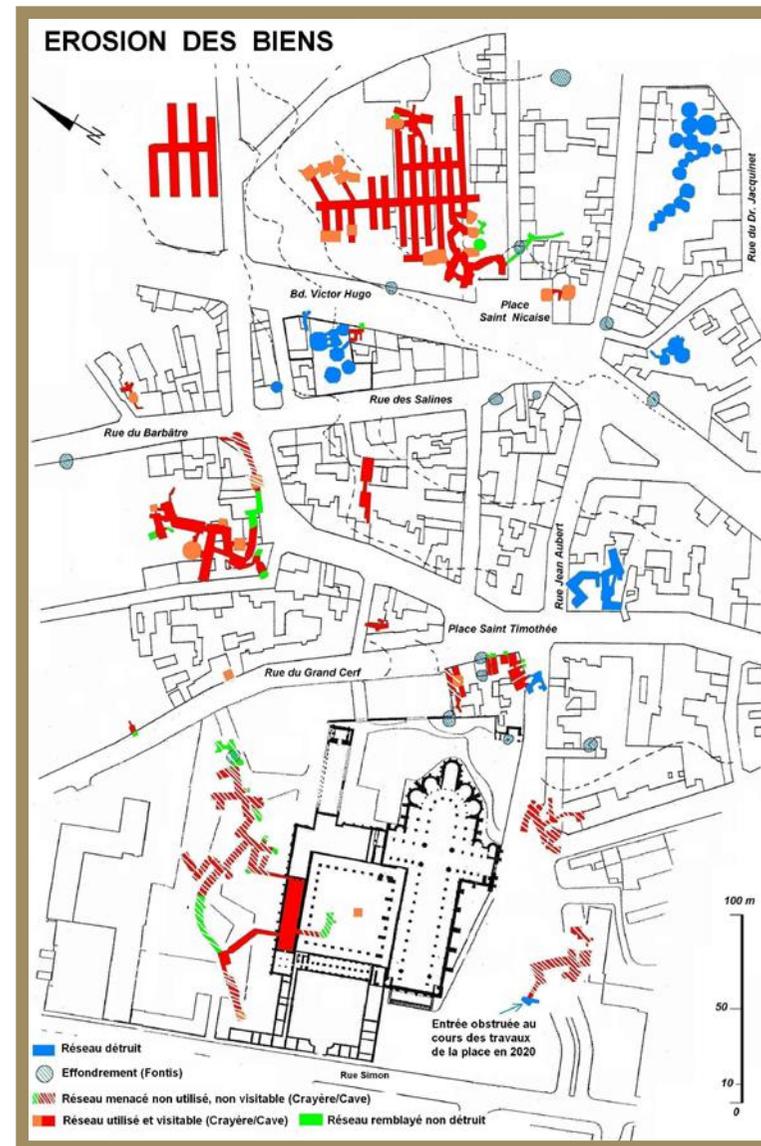
B145 Exemples de fiches d'abri dans les caves à Reims (caves détruites vers 1990) - PHT

### 2.1.4 Plan de synthèse des données d'archives



B148 Plan de synthèse des données d'archives reportées sur le plan des cavités actuelles de la Colline Saint-Nicaise - PHT

B148Bis Le plan de synthèse permet d'établir une carte de l'érosion des biens par quartier ; Exemple ci-dessus : le quartier Saint-Remi à Reims. PHT



## 2.2 Localisation : principales techniques d'investigations géophysiques : Quelques méthodes indirectes

### 2.2.1 La microgravimétrie

Cette technique est efficace pour la recherche des cavités peu profondes (0 à -50m) et inaccessibles. Elle consiste à mesurer des valeurs de la gravité à la surface du sol qui sont influencées par les vides ou les différentes densités du sous-sol (cavités comblées ou vides). Les variations du champ de gravité ( $\mu\text{gal}$ -microgal) sont mesurées avec des appareils extrêmement sensibles qui enregistrent les variations d'attraction de la pesanteur terrestre.

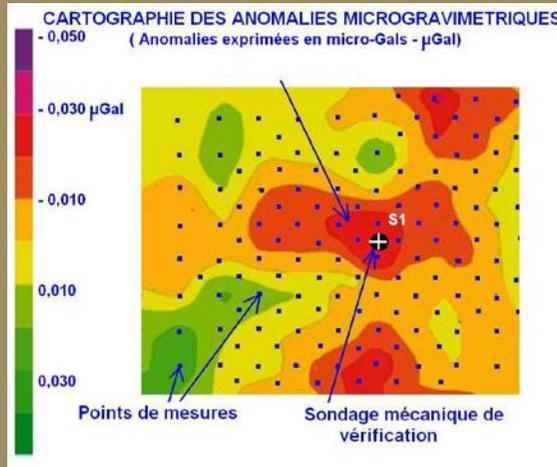
### 2.2.2 Les méthodes électromagnétiques

Ces systèmes permettent à la fois de relever et d'évaluer la présence de cavité avec une extrême précision.

Le rendu numérisé en trois dimensions apporte de nouvelles observations concernant des données géotechniques difficilement réalisables à partir d'observations visuelles. La méthode repose sur l'utilisation d'une balise émettrice générant un signal électromagnétique, et une à quatre balises réceptrices de mesure du signal généré. Un ordinateur assure le traitement des signaux en temps réel. Le système a deux applications qui permettent de connaître la profondeur et le cheminement d'un réseau souterrain. Le système trouve ses limites d'utilisation en milieu urbain où les performances sont amoindries à proximité de zones conductrices : ligne haute tension, réseau électrique enterré, éléments métalliques volumineux (cuveries), etc. Par ailleurs, de nombreux opérateurs qui doivent communiquer entre eux sont mobilisés pour les mesures.

### 2.2.3 Le scanner/laser

Le scanner/laser est une technique autonome de numérisation à grande vitesse, l'appareil fonctionne comme un lasermètre en mesurant une distance avec un point d'impact. La multiplication en millions de fois dans toutes les directions des mesures permet la modélisation d'un volume en trois dimensions. Le traitement des données est exécuté à l'aide d'un logiciel de traitement de nuages de points qui permet de dimensionner, de cartographier et de surveiller la cavité. Les numérisations doivent être exploitées par un œil expert afin d'exclure les anomalies inhérentes aux mesures et nécessitent des moyens informatiques importants, il s'agit surtout d'une technique de relevé des cavités tridimensionnelle. Cette technique n'est pas utilisable dans l'eau.



B1483 Principe de cartographie des anomalies Microgravimétriques - PHT



B1484 Exemple de gravimètre - PHT



B1491 Machine de forage destructif et de carottage- PHT



B1492 Méthode directe : investigations in-situ - PHT

## 2.2.4 Les méthodes électriques

Ces méthodes consistent à mesurer une différence de potentiel électrique entre deux électrodes plantées dans le sol qui reçoivent un courant continu. Le paramètre analysé est la résistivité. Les cavités vides sont caractérisées par une forte résistivité par rapport aux terrains environnants. Cette technique est sensible aux perturbations électriques d'origine industrielle.

## 2.2.5 La thermographie infra rouge

Une caméra aéroportée mesure le rayonnement thermique naturel du milieu étudié. Ce rayonnement est directement lié à la température de surface du terrain analysé. Une cavité située à faible profondeur perturbe la température d'émission des radiations du sol. Cette méthode est intéressante dans le cas de puits ou d'essors bouchés en surface, où le bouchon (voûte ou autre) peut soit être réchauffé en hiver, soit refroidi en été.

## 2.3 Localisation : principales techniques d'investigations géophysiques :

### Les méthodes directes

L'emploi des méthodes directes est une suite logique et incontournable de l'utilisation des méthodes indirectes car il faudra toujours vérifier in situ l'état des cavités dans un projet, quel qu'il soit. Il faut donc bien définir dès le départ les objectifs et la finalité du projet afin de réaliser une étude de travaux qui soit viable financièrement. Savoir qu'il existe des caves, c'est bien, mais que fait-on après ? Savoir les conserver, c'est mieux !

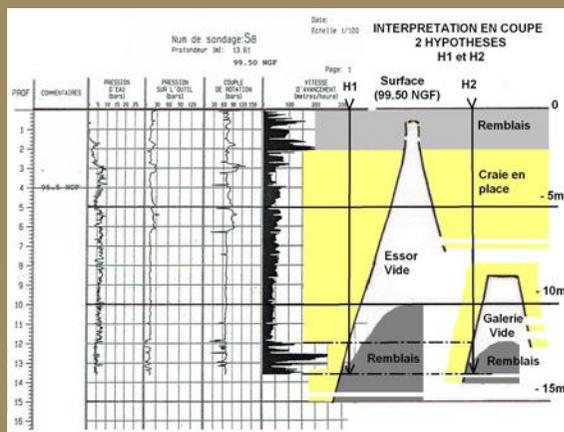
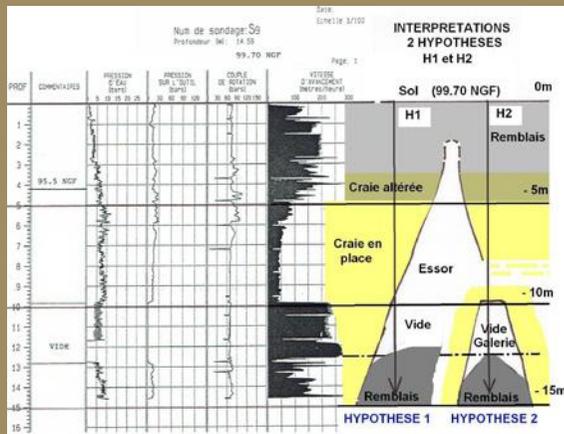
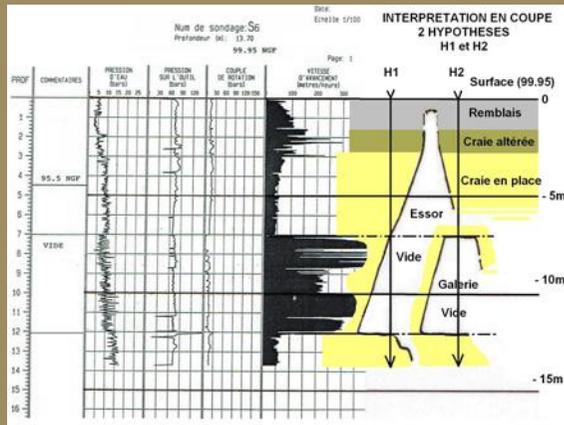
### 2.3.1 Les sondages carottés

Le but est de découper sur toute la longueur forée une colonne du terrain traversé puis de la remonter en surface par passes successives, pour une analyse. Cette méthode, qui permet une étude fine des horizons traversés, est peu utilisée car très coûteuse à sa mise en œuvre. Cependant, elle est indispensable lorsque que l'on veut établir une étude de stabilité des cavités fiable car elle permet de connaître exactement la nature des terrains traversés.

### 2.3.2 Les sondages destructifs

Le forage destructif est le moyen le plus couramment utilisé pour la reconnaissance des cavités. D'un coût acceptable suivant la profondeur d'investigation, cette méthode s'adapte à toutes les contraintes de chantier du fait de la disponibilité de foreuses de faibles tailles.

En préalable (comme pour un sondage carotté), il faut établir un plan de maillage des sondages envisagés le plus précis possible. La technique de « la pêche à la ligne », qui consiste à faire des sondages au hasard, est une source d'erreurs fréquentes d'interprétation en milieu sous miné, préjudiciable à la réalisation des ouvrages.



On constate le plus souvent la mise à jour des cavités oubliées au moment de la réalisation des fondations...

Il faut également déterminer la profondeur d'investigation requise par l'étude historique préalable afin de ne pas être à la merci de cavités inférieures oubliées.

Le principe consiste à enregistrer les paramètres suivants pendant le forage :

- la poussée exercée sur l'outil ;
- la vitesse d'avancement instantanée de l'outil ;
- la vitesse de rotation, le couple de rotation ;
- le débit et la pression du fluide de forage (eau).

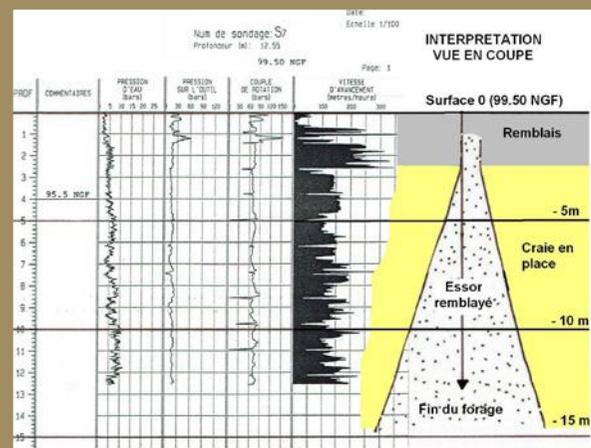
Les enregistreurs de ces paramètres donnent des diagrammes instantanés des paramètres relevés : les diagraphies.

### 2.3.3 Exemples d'interprétation des diagraphies

La profondeur d'investigation géotechnique, suite à une étude historique, a permis de définir la cote de moins 16 mètres sous la surface du sol existant. Les forages ont cependant été arrêtés entre moins 14 et moins 15 mètres, suite aux résultats probants et par soucis d'économies (20 sondages au total).

Toutes les hypothèses ont été mises en évidence par un décapage mécanique qui a mis à jour un réseau de crayères et de galeries. Diagraphies (ci-contre).

Des erreurs d'interprétation peuvent se produire dans les zones très diaclasées. Pour la recherche dans les calcaires stratifiés, il existe des aléas plus nombreux avec notamment la traversée de couches sableuses ou argileuses.



Diagraphie - PHT



*B150 B151 B152 Exemples de puits foncés à la main pour la recherche d'une cavité située à 16 m de profondeur sous un ouvrage existant - PHT*

### 2.3.4 Les puits foncés à la main ou mécaniquement

Il s'agit de la plus ancienne technique connue de repérage des cavités qui est toujours utilisée. Employée dans les chantiers où il est impossible d'installer des moyens mécaniques et où il faudra de toute manière effectuer des confortations en sous-œuvre, son coût élevé, du fait de la réalisation par fonçage manuel, en restreint l'usage.

Une attention particulière est portée non seulement à la réalisation des blindages mais également au moment du démontage, lors des remplissages ou tubages. Ce type de sondage implique une étude préalable sérieuse de positionnement afin d'optimiser le puits de reconnaissance qui peut servir de puits de fondation ou de confortation

### 2.3.5 Reconnaissances visuelles des caves inaccessibles par vidéoscopie

Le principe est simple et consiste à introduire une caméra dans un forage tubé pour filmer la cavité. Les progrès du numérique permettent d'avoir du matériel qui fonctionne également dans l'eau.

Un télémètre est associé en cavité sèche pour les mesures de dimensions. Pour les cavités horizontales, on peut disposer d'un robot qui arpente les vides. Ce procédé permet une bonne évaluation des vides pour la programmation d'un projet.



*B152 Bis et Ter Etaisement des bâtiments de surface pour la réalisation d'un sondage Archéologique manuel à la main en vue d'une reprise en sous œuvre.*

## 2.4. Tableau indicatif d'appréciation de l'efficacité et des coûts

### METHODES INDIRECTES

METHODES	RECHERCHE DE CAVITES	RECHERCHE D'HORIZON PORTEUR	COMMENTAIRES	COUT	UNITE TARIFICATION
La microgravimétrie	Efficace	Plus ou moins efficace	Détecte toutes les anomalies du sous-sol, peut venir en complément du scanner/laser	Elevé	A la mission Par jour
Les méthodes électromagnétiques	Plus ou moins efficace	Plus ou moins efficace	-	Elevé	A la mission Par jour
Le scanner/laser	Plus ou moins efficace	Plus ou moins efficace	Ne fonctionne pas dans les réseaux inondés	Elevé	A la mission Par jour
Les méthodes électriques	Plus ou moins efficace	Plus ou moins efficace	Attention aux perturbations urbaines des réseaux	Elevé	A la mission Par jour
La thermographie infra rouge	Efficace	Inefficace	-	Elevé	A la mission Par jour

### METHODES DIRECTES

METHODES	RECHERCHE DE CAVITES	RECHERCHE D'HORIZON PORTEUR	COMMENTAIRES	COUT	UNITE TARIFICATION
Les sondages carottés	Efficace	Efficace	Intervention d'un géologue pour l'interprétation	Très élevé	Mètre linéaire
Les sondages destructifs	Plus ou moins efficace	Efficace	Attention aux interprétations dans les sols hétérogènes	Peu élevé ou élevé	Mètre linéaire
Les puits foncés à la main	Efficace	Efficace	Intervention d'une entreprise spécialisée	Elevé	Mètre linéaire
Vidéoscopie	Efficace	Inefficace	A la portée de tous sauf pour le forage d'inspection	Peu élevé	A la mission Par jour
Sondages à la pelleuse	Efficace	Efficace	Limité en profondeur et suivant la nature des terrains de surface	Peu élevé	A la journée

*Les coûts indiqués sont évidemment variables en fonction du nombre à effectuer, des dimensions des ouvrages à étudier et des conditions locales du marché. Ils sont établis en fonction des unités de tarification. Exemples : à la mission, élevé de 1 000 à 10 000 euros ; au mètre linéaire : peu élevé = moins de 1 000 euros, très élevé = 10 000 euros ou plus.*

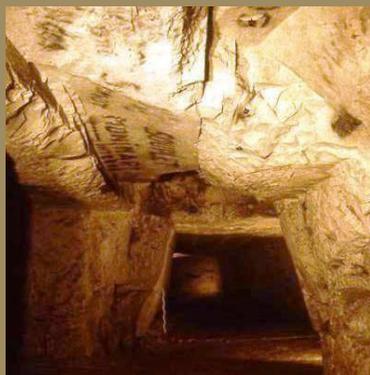
# 3. DIAGNOSTIC ET ÉVALUATION DE L'ÉTAT DES CAVES



B153 B154 Discontinuités plus ou moins verticales : les diaclases - PHT



B155 B156 Joints stylolithiques : les stylolithes - PHT



B156Bis Diaclase située dans l'axe d'une galerie d'extraction afin de faciliter le débit de la craie - PHT

## 3.1. Les caves dans la craie

### 3.1.1 Connaissance des paramètres géologiques de base : la fracturation dans la craie

L'ensemble des joints ou fractures naturelles ont un rôle prépondérant dans la stabilité des cavités.

### 3.1.2 Les diaclases, discontinuités verticales

Des fissures verticales plus ou moins décimétriques fracturent toutes les roches calcaires : il s'agit de diaclases. Fréquemment orientées, ces diaclases sont dues aux efforts tectoniques du socle.

Le réseau de diaclases facilitait le travail des carriers et déterminait souvent un plan de découpage des roches latérales ou à l'axe des galeries. Les diaclases jouent un rôle fondamental dans les circulations d'eau souterraine.

Il est fréquent d'observer des regroupements importants qui débitent la craie en petits parallélépipèdes

### 3.1.3 Les joints stylolithiques

Il s'agit de la surface des discontinuités préexistantes qui ont été soumises à des pressions importantes provoquant une dissolution de la roche qui se strie (stylo) sous la contrainte maximale.



B157 Joints de banc dus à la décompression de la craie - PHT



B157Bis Joints horizontaux de bancs bien visibles dans un essor - PHT

### 3.1.4 Les joints de bancs, discontinuités horizontales dans la craie

La puissance crayeuse est divisée par des fractures plus ou moins horizontales, formant des joints qui séparent la roche en bancs. Ces joints sont de plus en plus espacés au fur et mesure que l'on s'enfonce dans l'horizon crayeux.

Ces joints ne correspondent pas à des plans de stratifications car ils sont parallèles à la surface topographique, même si la pente est forte. Il s'agit donc de débits consécutifs à la détente liée à l'érosion des sédiments surincombants.

*(M. LAURIN, Bull. d'infos des géologues du bassin de Paris, volume 17 n°4 : les bancs de craie).*

### 3.1.5 Les failles, discontinuités verticales

Une faille est une discontinuité d'origine tectonique dont les deux compartiments montrent un déplacement l'un par rapport à l'autre. Elles ont une extension de plusieurs centaines de mètres à plusieurs kilomètres.

### 3.1.6 Diagnostic de l'état des caves dans la craie, de leur stabilité et du niveau de dégradation

#### 3.1.7 Outils d'analyses de la stabilité

En premier lieu, la constitution d'une carte géotechnique de base est un élément incontournable pour déterminer les zones instables et le niveau de dégradation du bien.

En second lieu, on procède à l'identification des sources d'instabilité avec une analyse des observations, des contraintes et des méthodes de calcul. L'approche la plus courante consiste à déterminer les charges supportables du massif (pilier) et du ciel (toit) exprimées par leurs résistances à la compression et les sollicitations exercées sur ceux-ci. Cette méthode correspond à une vision très simplifiée de la réalité car l'état de la fracturation et de l'altération des roches ne peut être pris en compte. Cependant, cette technique permet d'avoir une vision globale sur les conditions de stabilité des caves dans les crayères et carrières.

**A cet effet, un certain nombre de fiches pratiques sont fournies dans les pages suivantes au chapitre C.**

On détermine également le taux de défrètement des cavités. Ce taux, exprimé en pourcentage, indique la part de matériau extrait par rapport à la part de matériau encore en place.

On peut également indiquer le pourcentage de vide occupé par les cavités sur une certaine surface à une profondeur donnée, pour les caves maçonnées.

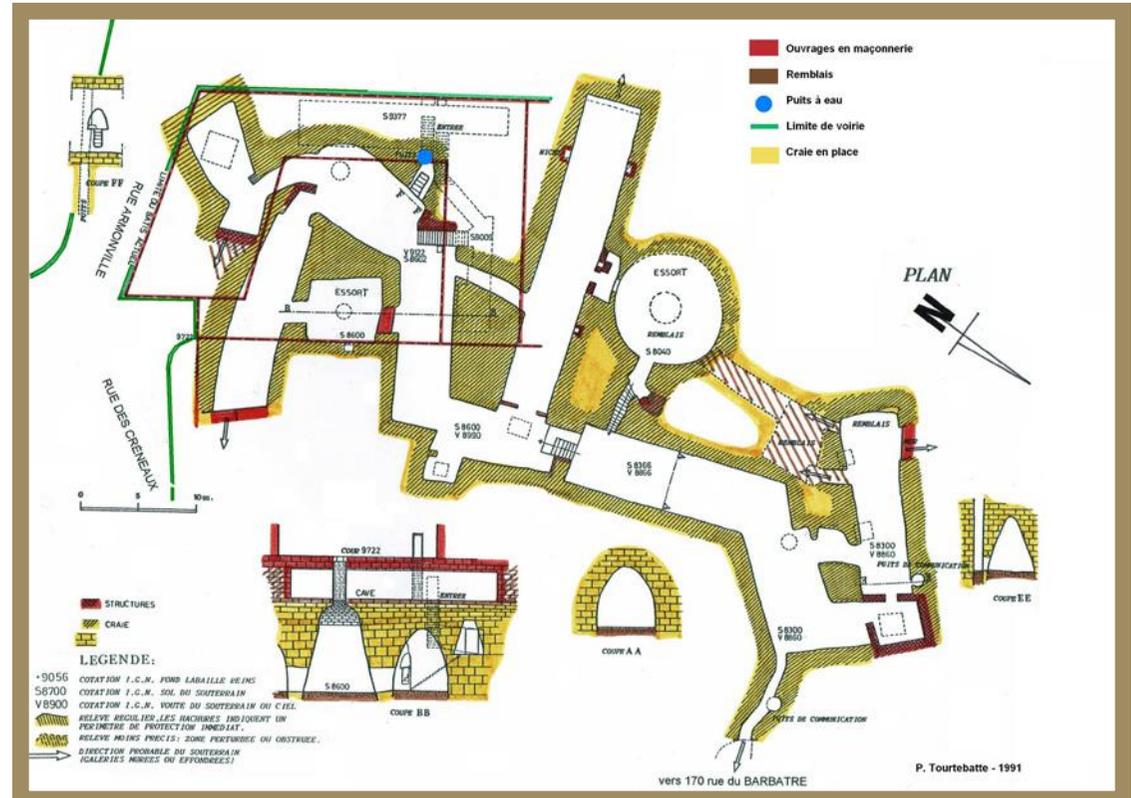
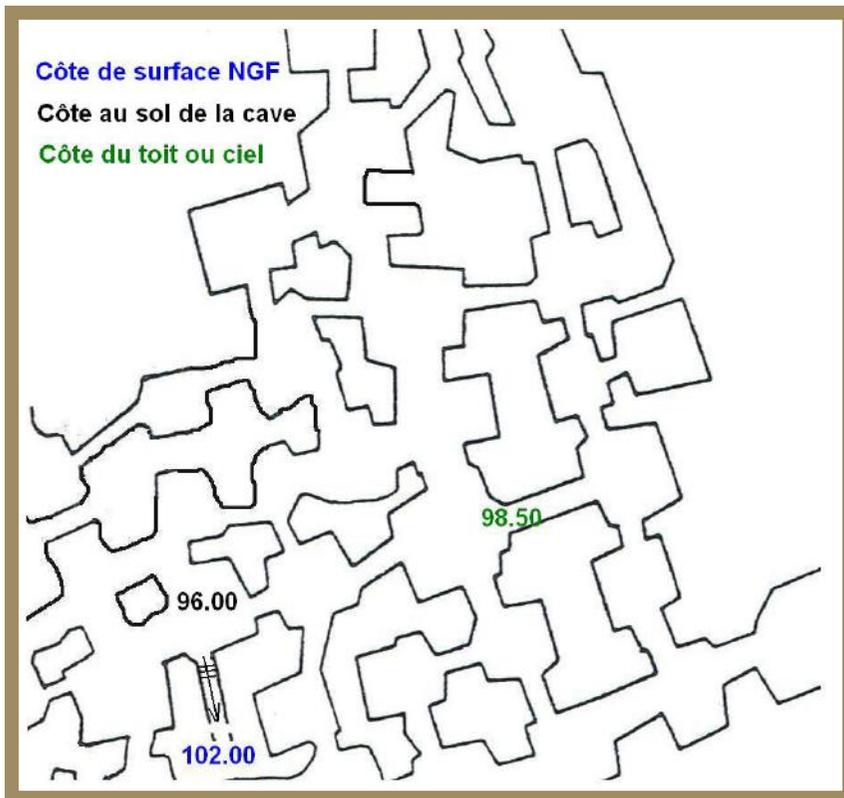
## PHASE 1

### 3.1.8 Savoir réaliser une carte géotechnique de base

L'établissement d'une carte géotechnique est basé sur un examen visuel méticuleux des cavités avec le report de tous les paramètres sur une cartographie précise. On reporte également sur la cartographie les signes prémonitoires de dégradation ou de ruptures: ruissellements d'eau, fractures, chutes partielles de blocs, écrasements, déformations, fissures, etc. On constitue ainsi une carte géotechnique des caves qui doit être mise à jour périodiquement, avec des photographies localisées et datées, afin de permettre le suivi des dégradations pour anticiper les mesures à prendre.

### 3.1.9 Exemple de constitution d'une carte géotechnique :

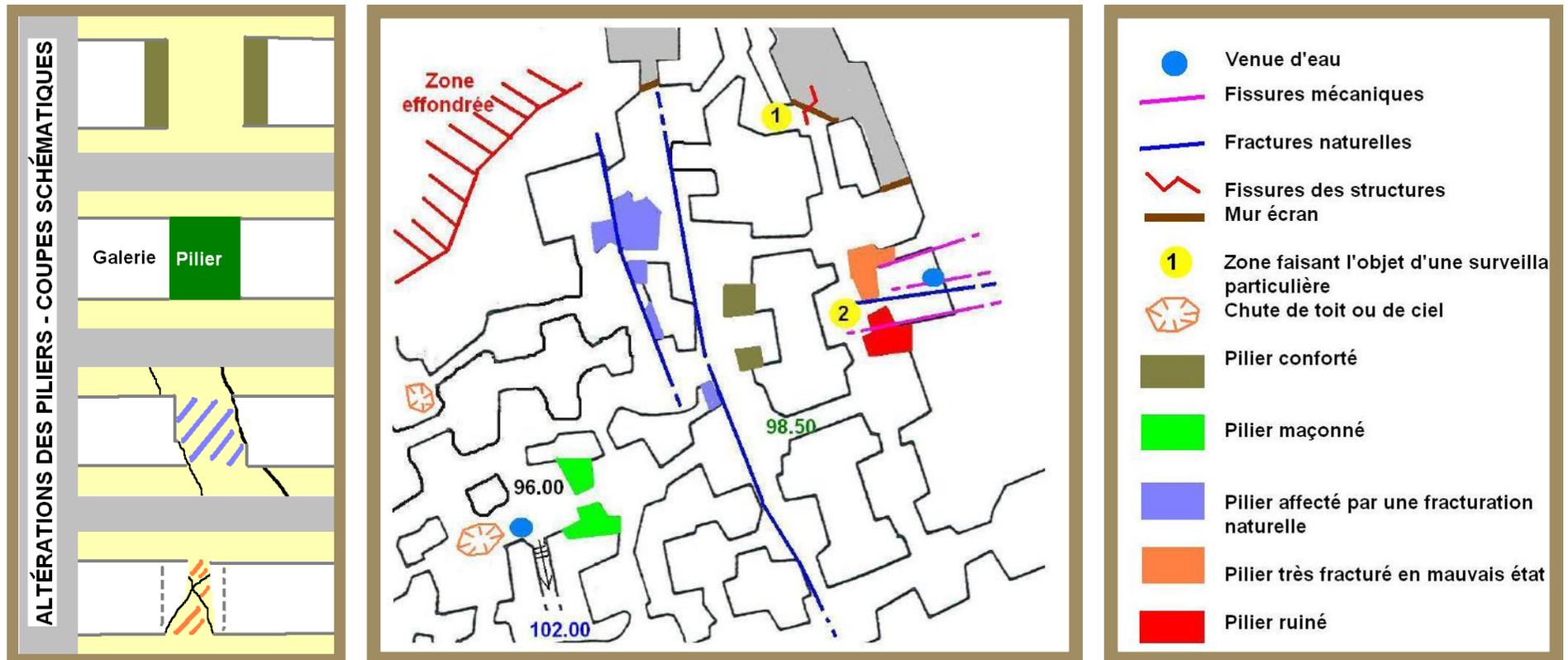
Phase 1 : établir un plan topographique avec cotation des niveaux (3 niveaux de référence) :



B158 Exemple d'un relevé avec indications partielles (nature des ouvrages) - PHT

## PHASE 2

Phase 2 : relevé des paramètres spécifiques au bien souterrain et report sur le plan de base :

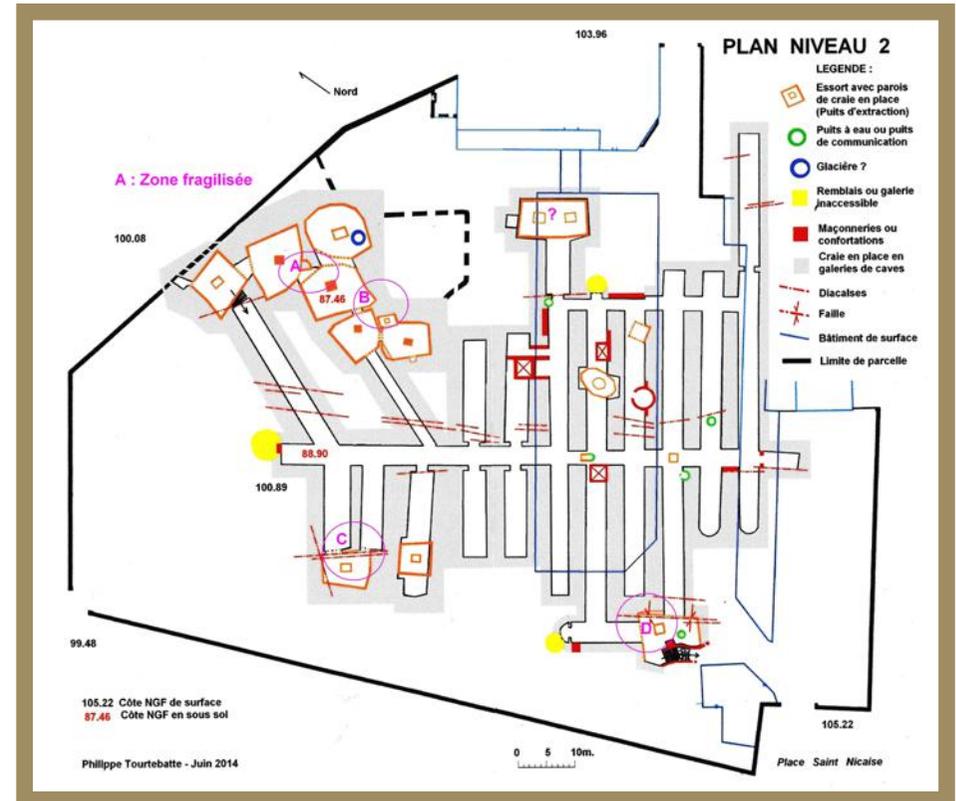
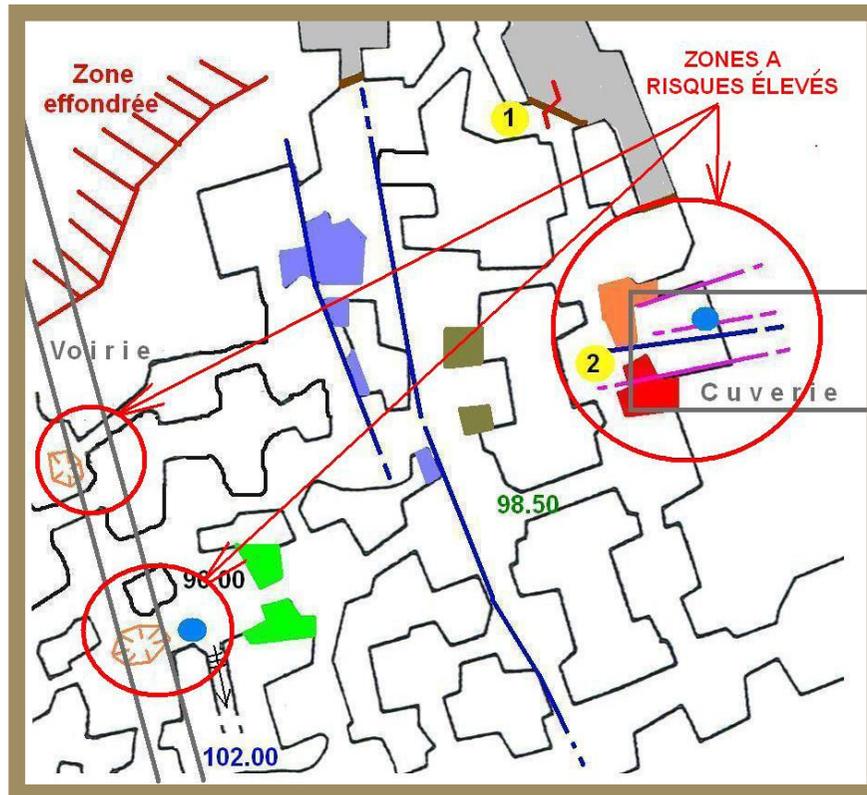


### PHASE 3

#### Phase 3 : evaluation des risques d'alterations

Afin de fonder le diagnostic de stabilité et de connaître les causes des désordres identifiés, on procède ensuite au report sur la carte géotechnique de toutes les infrastructures de surface : voirie, bâtiments neufs, démolis, etc.

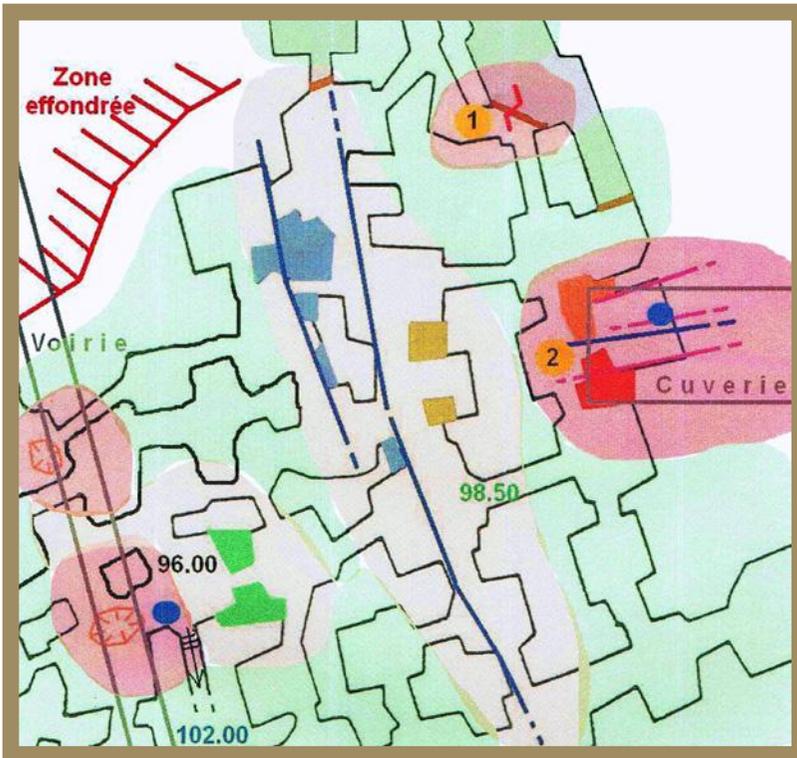
La carte géotechnique donne une idée précise des zones de stabilité et d'instabilité des cavités. On peut, à partir de celle-ci, définir un niveau qualitatif global de l'état des caves.



## PHASE 4

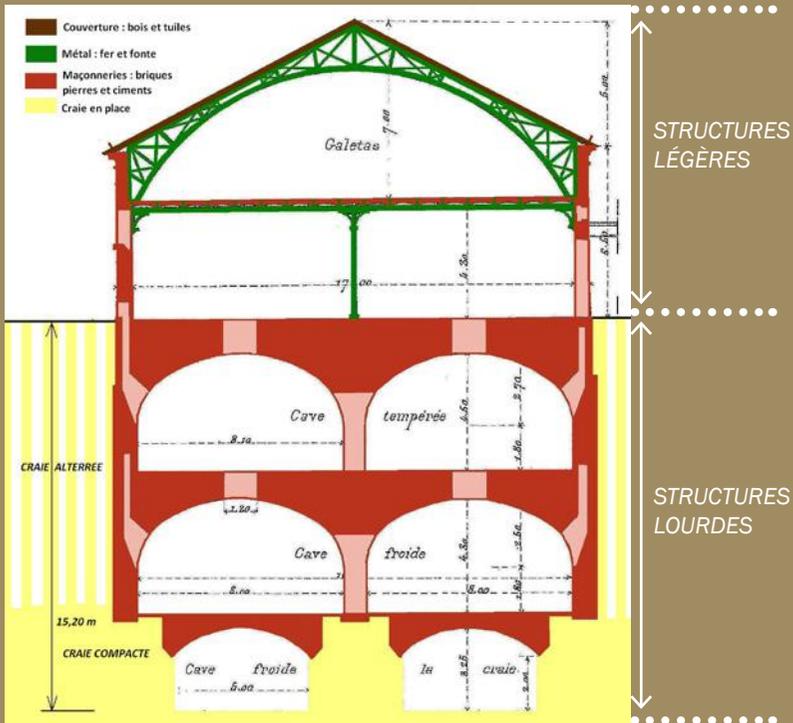
### Phase 4 : cartographie de l'état du bien souterrain - niveaux de dégradation

Etablissement d'une échelle des niveaux de dégradation de 1 à 5, fondement du diagnostic de stabilité pour établir une cartographie des zones de l'état du bien souterrain.



B158 Exemple d'une carte d'évaluation de l'état du bien - PHT

Niveau de dégradation	Toit, ciel, voûte	Piliers, confortations	Observations/Exemples
<b>1 Bon état</b>	Pas ou très peu de fissuration avec de légers décollements, écaillages.	Légères usures aux angles, épaufrures localisées, pas de trace d'écrasement, confortations intactes.	
<b>2 État moyen</b>	Chutes partielles de blocs avec décollements visibles aux joint	Libération de plaques et fissures bien visibles, confortations intactes.	
<b>3 Mauvais état</b>	Effondrement des ciels et des piliers mesurable en m <sup>3</sup> .	Perte et réduction visible d'au moins 30 % de la masse du pilier, pertes en m <sup>3</sup> , confortations fissurées.	
<b>4 Très mauvais état</b>	Formation d'une cloche de fontis et ruine des piliers.	Ruine des piliers sur au moins 50 % de la masse, confortations abîmées.	
<b>5 Effondrement</b>			



### 3.2. Pour les caves dans les carrières de calcaire stratifiés

L'établissement d'une carte géotechnique pour les caves dans les carrières de calcaire stratifié prend en compte les mêmes critères que ceux évoqués pour les carrières de craie. Cependant, il faut prendre en compte la technique d'exploitation de celles-ci et si elles sont multiples ou pas comme évoqué dans le chapitre A.

### 3.3. Les caves maçonnées en milieu rural et urbain

#### 3.3.1 Connaissance des paramètres géologiques de base : terrains environnants

Les paramètres suivants doivent être identifiés :

- la nature et l'épaisseur des terrains qui se trouvent au-dessus de la cave : remblais ou non ;
- la nature des terrains qui se trouvent sous la cave ;
- la présence d'eau et de ses niveaux ;
- la nature des matériaux qui constituent les ouvrages en souterrain et en surface ;
- la date de construction des ouvrages.

#### 3.3.2 Nature des matériaux utilisés

La nature des matériaux qui constituent les ouvrages en souterrain et en surface est une donnée importante afin de déterminer la stabilité des ouvrages.

#### 3.3.3 Exemple d'une méthode de construction avec la nature des matériaux

La coupe du bâtiment ci-contre, une fois colorisée par nature de matériau, nous renseigne sur la conception des ouvrages : les maçonneries lourdes qui constituent les caves de ce bâtiment sont imposantes par leur masse dans un sous-sol qui, géologiquement, devait être constitué uniquement par de la craie en place. Les constructeurs ont rencontré ici une craie très altérée ou fracturée, ou la présence d'un remaniement du sous-sol d'origine inconnue les obligeant à concevoir une structure profonde de caves maçonnées.



B1581 Les arcs en briques ci-dessus soutiennent d'abord la dalle du plancher en béton – PHT



B1582 Dépilage d'un pilier abandonné pour ne pas affaiblir la zone porteuse des ouvrages de surface - PHT

### 3.3.4 Influence des bâtiments de surface

Les bâtiments de surface sur les caves maçonnées sont généralement établis en même temps que les cavités car, dans la plupart des cas, les ouvrages souterrains servent de fondation aux ouvrages en surface, ils ont donc une influence directe. Les études de conception au moment de la construction des bâtiments anciens ont pris en compte un certain nombre de contraintes qui ne correspondent plus aux charges et surcharges actuelles.

Il convient donc de bien connaître la nature des matériaux afin de déterminer les charges admissibles et la date de construction des ouvrages.

### 3.4. Diagnostic de l'état des caves, de leur stabilité et du niveau de dégradation

#### Outils d'analyse de la stabilité

En premier lieu, la constitution d'une carte de l'état des caves sur un levé précis est un élément incontournable pour déterminer les zones instables et le niveau de dégradation du bien.

En second lieu, on procède à l'identification des sources d'instabilité avec une analyse des observations, des contraintes et des méthodes de calcul.

L'approche la plus courante consiste à déterminer les charges supportables des ouvrages exprimées par la résistance à la compression des matériaux qui les composent, et les sollicitations exercées sur ceux-ci.

Cette méthode correspond à une vision très simplifiée de la réalité car de nombreuses données ne peuvent être prises en compte sans investigation complémentaires : épaisseur des maçonneries, nature des mortiers de hourdage, etc.

Cependant, cette technique préliminaire indispensable permet d'avoir une vision globale des conditions de stabilité des caves maçonnées.

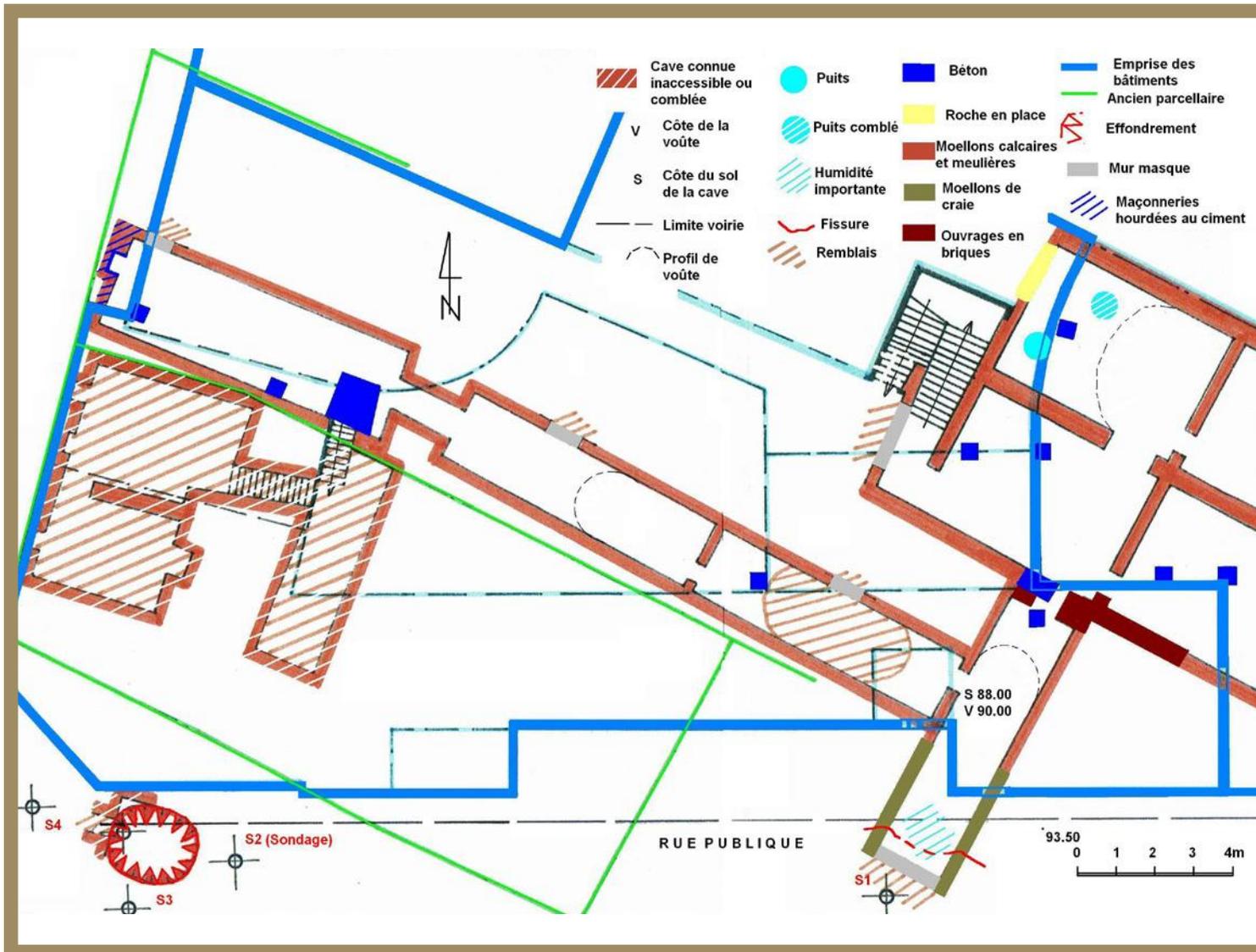
*A cet effet, un certain nombre de fiches pratiques sont fournies dans les pages suivantes au chapitre C.*

## PHASE 1

### 3.5. Savoir établir une carte de l'état des ouvrages

#### Exemple de constitution d'une carte de l'état des ouvrages souterrains

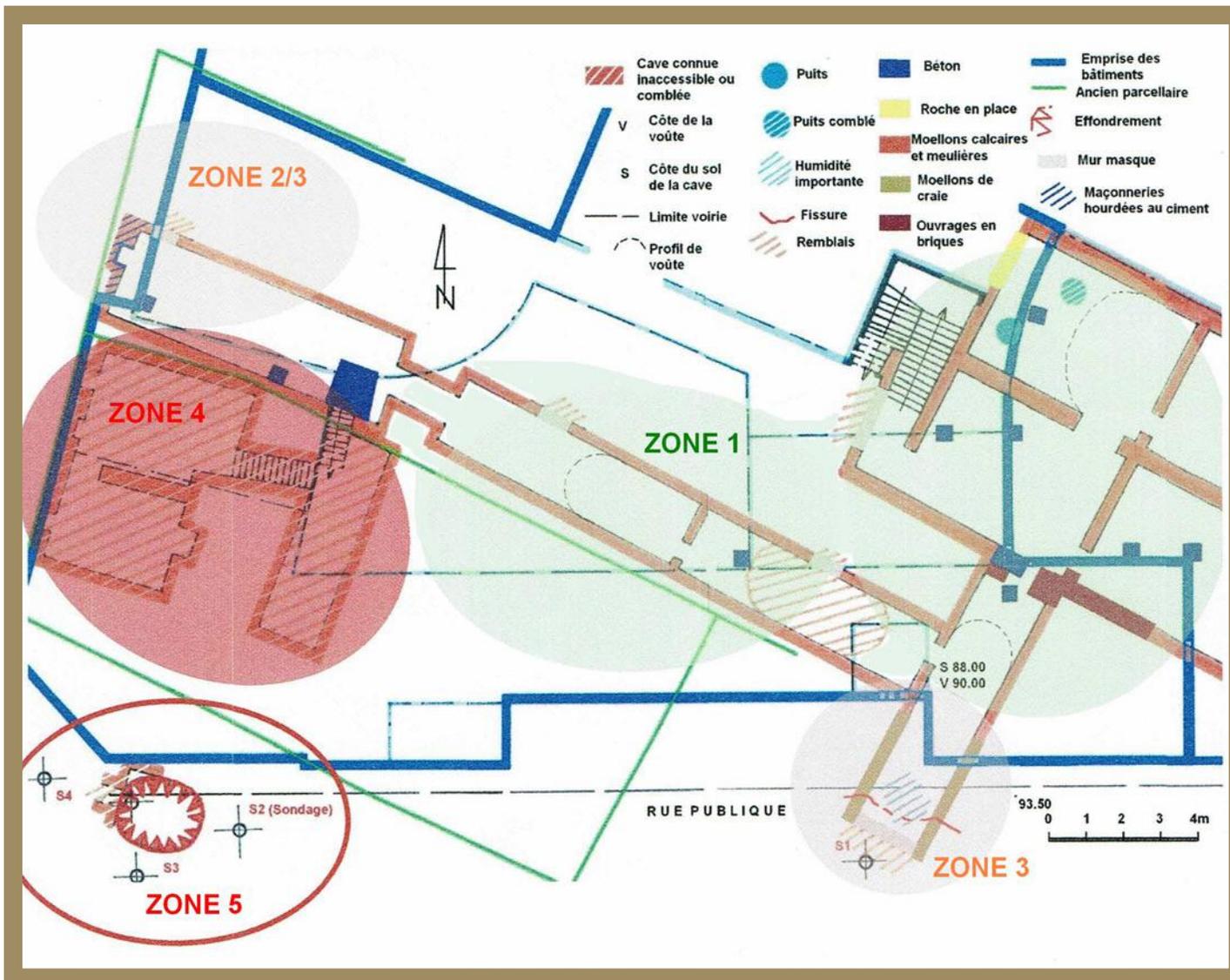
Phase 1: caves maçonnées - établir un plan topographique avec cotation des niveaux, relevé des paramètres spécifiques au bien souterrain et report sur le plan :



A161 PHT

## PHASE 2

Phase 2: caves maçonnées - cartographie de l'état du bien souterrain - niveaux de dégradation et risques d'altérations :



A162 PHT

## POUR EN SAVOIR PLUS

Guides INERIS :

INERIS, 2007 : Guide « mise en sécurité des cavités souterraines d'origine anthropique : surveillance - traitement. INERIS-DRS-07-86042-02484A.

INERIS, 2013 : Méthodologie de surveillance du risque de fontis en cavité souterraine par méthode acoustique. INERIS-DRS-13-135992-01259B.

INERIS, 2015 : Surveillance instrumentée des carrières souterraines. Retour d'expérience sur l'instrumentation géotechnique par capteurs de déplacement. INERIS-DRS-15-149560-10629A.

INERIS, 2015 : Préconisations pour la mise en oeuvre de techniques d'auscultation dans les carrières souterraines. INERIS-DRS-15-149556-11615A.

INERIS, 2015 : Guide sur les solutions de mise en sécurité des cavités d'origine anthropique. INERIS-DRS-15-149564-02401A. mars 1977, 12p.

Légende de la carte p.75 :

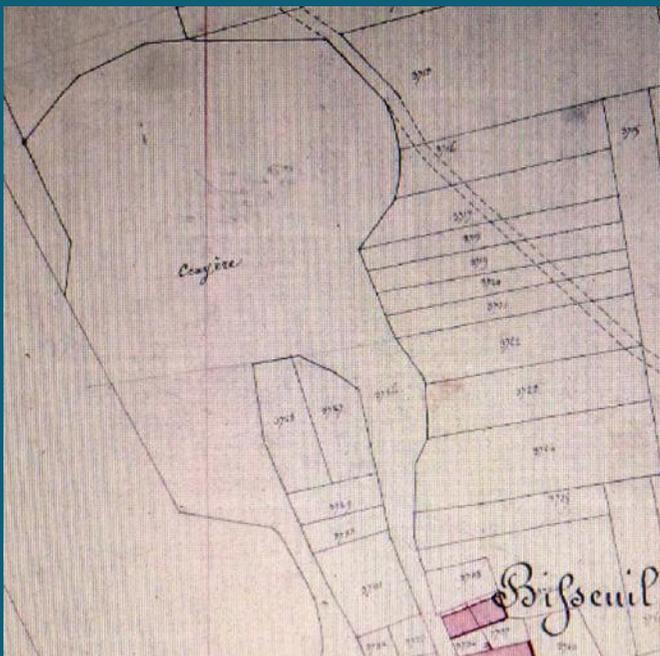
Niveau de dégradation	Ouvrages de couverture	Supports, confortations	Observations/Exemples
<b>Zone 1 Bon état</b>	Pas ou très peu de fissuration avec de légères altérations des joints.	Pas de trace d'écrasement, confortations intactes.	
<b>Zone 2 État moyen</b>	-Chutes partielles d'éléments avec des joints dégradés. Humidité.	Déformations légères des supports et voûtes, confortations intactes.	
<b>Zone 3 Mauvais état</b>	Affaissement des ouvrages visibles, décrochements, fissures importantes. Humidité importante.	Réduction visible d'au moins 30 % de la masse des ouvrages et déformations, confortations fissurées.	
<b>Zone 4 Très mauvais état</b>	Éffondrements localisés. Caves inaccessibles remblayées ou non.	-Ruine des ouvrages sur au moins 50 %. Confortations abîmées.	
<b>Zone 5 Effondrement généralisé</b>			

## **CHAPITRE C**

---

# **Protéger et valoriser**

## 4. MAITRISE FONCIERE ET PROPRIETE DU SOUS-SOL - RAPPEL DES PRINCIPAUX CAS



C4010 Cadastre de 1827 – Crayère de Bisseuil (51) - ADM

### 4.1. Droit de propriété du sous-sol (tréfonds) et délimitation

La propriété du sous-sol, qui s'appelle propriété tréfoncière ou propriété du tréfonds, ne connaît pas d'autre limite que celles fixées par l'article 552 du Code civil : «La propriété du sol emporte la propriété du dessus et du dessous».

La propriété souterraine est délimitée au même titre que la propriété en surface : il y a projection dans le sous-sol de la limite séparative des parcelles superficielles.

Cela signifie que le propriétaire du sol est également propriétaire des cavités qui se trouvent à l'aplomb de son terrain, même s'il ne les a jamais explorées ou exploitées lui-même.

La profondeur de cette propriété souterraine n'est pas déterminée par le Code civil et va, en théorie, jusqu'au centre de la terre.

Cependant, l'article 552 n'édicte qu'une présomption simple, susceptible de s'effacer devant la preuve contraire. Ainsi, le propriétaire du sous-sol (tréfonds) ou le titulaire d'un droit peut toujours apporter la preuve de son droit contre les prétentions du propriétaire de la surface. Cette éventualité est prévue dans l'article 553 du Code civil, notamment pour le cas des ouvrages souterrains. Les tribunaux sont unanimes à reconnaître que la preuve peut être apportée soit par la production d'un titre, soit par une présomption plus forte, soit encore par la possession trentenaire.

Il existe également une dérogation à l'article 552 en cas de présence dans le sous-sol de certaines substances minérales qui peuvent être exploitées pour l'intérêt national (Art. 2 du Code minier).

### 4.2. Dissociation du tréfonds (sous-sol) de la propriété du sol, location ou vente du tréfonds, responsabilités et conséquences

Il est possible de dissocier juridiquement la propriété foncière de la propriété tréfoncière.

Le propriétaire du sol peut donc vendre, donner ou louer de façon autonome le sous-sol de son terrain sans pour autant être obligé de faire de même pour la propriété superficielle. Une expropriation peut ainsi porter sur le seul sous-sol, à l'exclusion de la surface ou inversement. Il y a donc une sorte de «stratification juridique», chaque strate pouvant appartenir à un propriétaire différent.



C401 Une cave peut en cacher une autre... - PHT

### 4.3 Acquisition par prescription du tréfonds

Il y a possibilité d'acquérir par prescription la propriété du sous-sol, c'est-à-dire d'en devenir propriétaire par un usage prolongé sans être propriétaire de la surface.

Rappel de l'article 2229 du Code civil: «Pour pouvoir prescrire, il faut une possession continue et non interrompue, paisible, publique, non équivoque et à titre de propriétaire». L'article 2262 du Code civil ajoute la condition de l'écoulement d'une durée de trente ans. Cela exige un usage du sous-sol à la vue de tous, y compris du vrai propriétaire, de façon non équivoque et en pensant que l'on est effectivement propriétaire des lieux (à titre de propriétaire) et que l'on en a toutes les apparences aux yeux des tiers.

### 4.4 Droit d'usage, servitudes en cas d'enclave souterraine et accès

Des problèmes d'accès aux cavités souterraines se présentent fréquemment lorsqu'un réseau se développe sous le terrain d'un propriétaire alors que l'entrée se situe sur le terrain d'un autre.

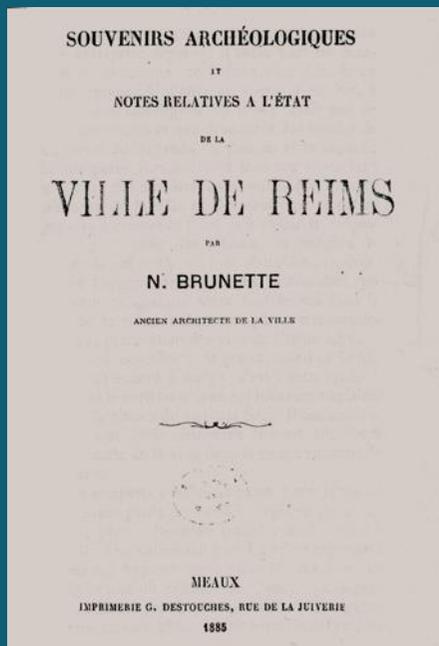
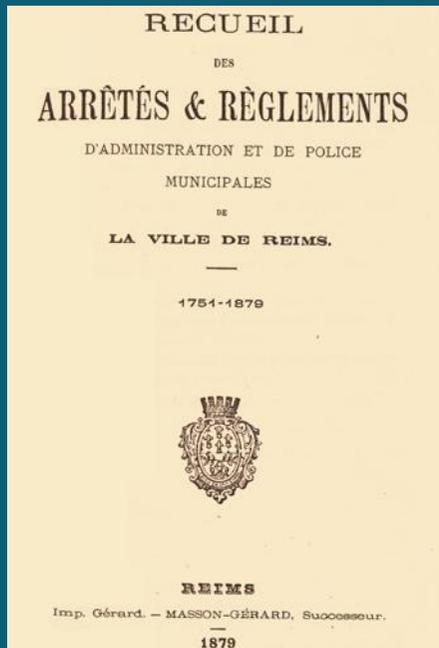
Rappel de l'article 682 du Code civil: «Le propriétaire dont les fonds sont enclavés et qui n'a sur la voie publique aucune issue ou qu'une issue insuffisante, soit pour l'exploitation agricole, industrielle ou commerciale de sa propriété (...) est fondé à réclamer sur les fonds de ses voisins un passage suffisant pour assurer la desserte complète de ses fonds, à charge d'une indemnité proportionnée au dommage qu'il peut occasionner».

L'existence de cavités sans entrée sur le fond sous lequel elles se développent est un véritable enclavement du tréfonds.

Cependant les propriétaires des cavités sans accès à partir de leurs terrains dépendent souvent du bon vouloir du propriétaire du fond sur lequel se trouve l'entrée de la cave. Certains se considèrent même comme propriétaire de l'ensemble du réseau sous le prétexte que l'entrée est située sur leur terrain.

Cette situation est juridiquement inexacte.

Le législateur a établi une servitude de passage uniquement pour les relations de fond à fond: c'est-à-dire en surface, et non de tréfonds à tréfonds ou de fond à tréfonds. La jurisprudence a interprété largement sa volonté et admet que le propriétaire d'une galerie souterraine peut bénéficier d'un droit de passage sur et sous la propriété d'une personne pour accéder au terrain où se trouve l'accès.



#### 4.5 Arrêtés municipaux concernant les tréfonds sous la voirie dans les villes

Le souci de contrôle face au monde souterrain des crayères est déjà présent à Reims en 1697 où des ordonnances interdisent aux croyers (carriers dans la craie) de creuser à moins de 12 pieds des voisins et à 24 pieds en contrebas des chemins, suite à des effondrements de maisons dans la rue du Grand Cerf. De tous les édits et arrêtés relatifs aux crayères, 1607, 1790, 1791, seul celui de 1836 nous renseigne sur l'ampleur du phénomène :

« Vu les rapports d'accidents déplorables arrivés par suite de défaut de barrières autour des crayères exploitées en différents points du terroir de Reims et des ouvertures ayant servies ou servant aux extractions (...) tout propriétaire devra les fermer par une grille et les voûter en maçonnerie ou les combler... » (REIMS, recueil des arrêtés et règlements d'administration de la police municipale de la ville de Reims de 1751 à 1879, Imp. MASSON GERARD 1879, p.106 à 122.).

De nombreux accidents par noyade se sont produits au XIX<sup>e</sup> siècle dans les essors et crayères inondés suite au comblement des fossés médiévaux qui servaient d'exutoires aux sources non captées de la ville de Reims.

Dès 1777, un arrêté prescrit la construction d'un canal souterrain destiné à capter l'eau des sources situées dans les crayères de Reims. Le comblement des fossés et la construction du canal vers 1840 eurent pour principale conséquence de stopper l'écoulement libre des eaux vers la rivière Vesle. Ce fut là la cause principale d'une montée des eaux de plus de dix mètres par rapport au niveau actuel de l'aquifère.

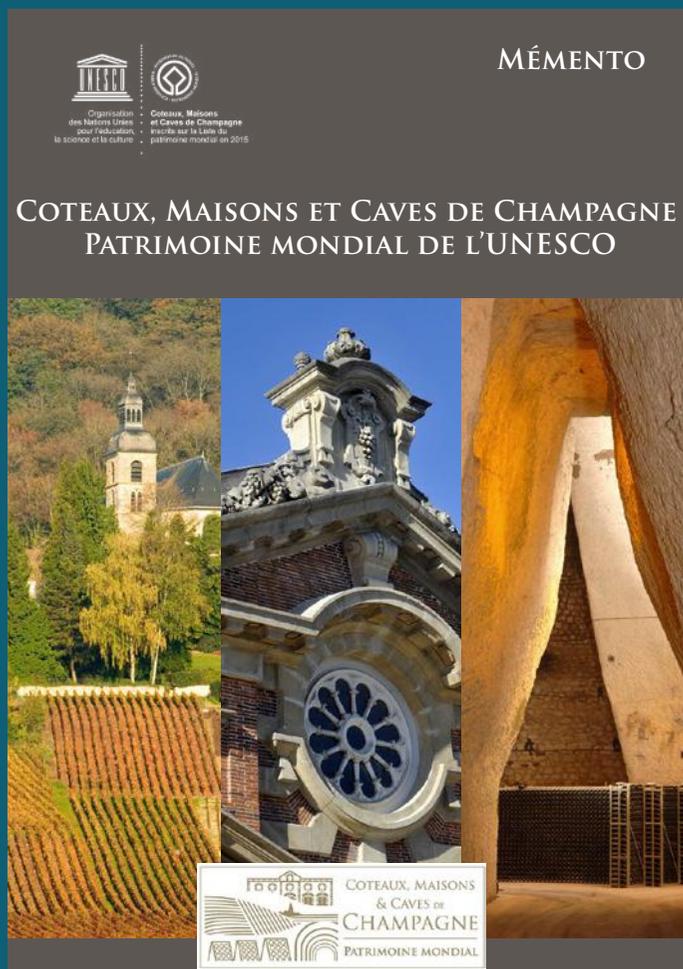
De nombreuses crayères furent inondées et Narcisse Brunette, architecte de la ville, a été requis en 1844 par la police pour faire murer un véritable lac souterrain, dans le secteur des actuelles caves Clicquot. Deux jeunes filles avaient trouvé la mort par noyade dans ces crayères (NARCISSE BRUNETTE, souvenirs archéologiques et notes relatives à l'état de la ville de Reims, MEAUX 1885, p.29, 62 à 64.).

La ressource en eau était assurée dans les quartiers Saint-Nicaise et Saint-Remi par un puisage direct dans les essors. Certains puits ont ainsi fait l'objet de vénération comme celui de l'église Saint-Julien.

## POUR EN SAVOIR PLUS

Disponible sur :

[www.champagne-patrimoine mondial.org](http://www.champagne-patrimoine mondial.org)



# 5. ÉTAT RÉGLEMENTAIRE DES PROTECTIONS EN SURFACE ET APPLICATIONS AU SOUS-SOL

## 5.1. Le Code du patrimoine

La protection du patrimoine bâti relève de la loi n° 2016-925 du 7 juillet 2016 relative à la Liberté de la Création, à l'Architecture et au Patrimoine (LCAP), et publiée au Journal Officiel le 8 juillet 2016.

Cette loi comporte deux volets :

- le volet 1 : Liberté de création et création artistique (non abordé ici)
- et le volet 2 : Protection du patrimoine et promotion de l'architecture (abordé ici).
- On distingue parmi les textes modifiés :
- le titre II « Dispositions relatives au patrimoine culturel et à la promotion de l'architecture » (articles 55 à 75)
- et le titre III relatif aux « sites patrimoniaux remarquables » (articles 76 à 119).

## 5.2. Protection au titre de l'inscription par l'UNESCO

La préservation des biens inscrits au patrimoine mondial de l'UNESCO doit être assurée par l'État en concertation avec les collectivités et les établissements publics de coopération intercommunale (EPCI). (Art. 74 / Code du patrimoine : L.612-1).

Deux outils sont constitués à cet effet :

- une « zone tampon » qui incorpore l'environnement immédiat, les perspectives visuelles importantes et d'autres aires ou attributs ayant un rôle fonctionnel important en tant que soutien apporté au bien et à sa protection ;
- un plan de gestion incluant les mesures qui s'appliquent sur le périmètre relatif à la zone tampon en matière de protection, conservation et mise en valeur.

Les biens inscrits sur la Liste du patrimoine mondial, leurs délimitations et leurs plans de gestion sont portés à la connaissance de l'autorité compétente qui engage l'élaboration ou la révision d'un Schéma de cohérence territoriale (SCOT) ou d'un Plan local d'urbanisme (PLU).

## POUR EN SAVOIR PLUS

<http://www.prim.ne>

Site sur la prévention des risques majeurs.

<https://www.ecologie.gouv.fr/>

Site du ministère de la Transition écologique.

<http://www.irma-grenoble.com>

Site d'information sur les risques majeurs.

<http://www.legifrance.gouv.fr>

Site juridique, diffusion du droit.

<http://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/>

Site Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement

<http://www.bdmvt.net>

Base de données de mouvements de terrain.

<http://www.bdcavite.net>

Base de données des cavités souterraines.

[www.francaise-instrumentation.fr](http://www.francaise-instrumentation.fr)

Appareils de mesures



### 5.3. Protection au titre des Monuments historiques

(Art. 75 / Code du patrimoine : L.621-30 à L.621-32)

On distingue :

- le Périmètre de Protection Modifié (PPM - Initiative de l'Architecte des bâtiments de France (ABF) avec accord de la collectivité)
- et le Périmètre de Protection Adapté (PPA - concomitant à la mise en place de protection au titre des MH).

Sont protégés au titre des abords : les immeubles ou ensembles d'immeubles qui forment avec un monument historique un ensemble cohérent ou qui sont susceptibles de contribuer à sa conservation ou à sa mise en valeur et qui sont situés dans un périmètre délimité par l'autorité administrative dans les conditions fixées à l'article L. 621-31. Le périmètre est défini sur proposition de l'ABF, après enquête publique avec consultation du propriétaire du bien et accord de la collectivité territoriale compétente en matière de PLU.

Dans les périmètres délimités, le critère de (co)visibilité ne s'applique pas.

Tous les travaux sont soumis à l'accord de l'ABF.

En l'absence de périmètre délimité (lorsque le périmètre n'est pas défini avec l'accord de l'autorité compétente en matière de PLU) l'ancien dispositif s'applique par défaut : la protection au titre des abords s'applique à tout immeuble bâti ou non bâti, en co-visibilité du MH et situé à moins de 500 m de celui-ci.

### 5.4. Incidences au titre d'une Aire de mise en Valeur de l'Architecture et du Patrimoine (ancienne dénomination)

(Art. 75, 112 et 114 / Titre III du Livre VI du Code du patrimoine : L.631-1 à L.633-1)

La loi a créé un nouveau régime de protection dénommé « Sites Patrimoniaux Remarquables » (SPR) en fusionnant les secteurs sauvegardés, ZPPAUP (Zone de Protection du Patrimoine Architectural, Urbain et Paysager) et les AVAP (Aire de Valorisation de l'Architecture et du Patrimoine).

Les SPR peuvent couvrir « les villes, villages ou quartiers dont la conservation, la restauration, la réhabilitation ou la mise en valeur présente, au point de vue historique, archéologique, artistique ou paysager, un intérêt public ». Peuvent être classés, au même titre, « les espaces ruraux et les paysages qui forment avec ces villes, villages ou quartiers un ensemble cohérent ou qui sont susceptibles de contribuer à leur conservation ou à leur mise en valeur. »

Au sein de ce périmètre, deux servitudes sont créées : le Plan de Sauvegarde et de Mise en Valeur (PSMV) sur tout ou partie du SPR dans les zones non couvertes par le PSMV ; le Plan de Valorisation de l'Architecture et du Patrimoine (PVAP).

## POUR EN SAVOIR PLUS

### INFOTERRE, UN ACCÈS À L'INFORMATION SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BRGM

#### InfoTerre vous permet de :

- Composer votre carte
- Consulter les légendes et notices explicatives des cartes géologiques
- Télécharger des données et rapports scientifiques
- Mesurer votre exposition aux risques naturels et industriels
- Visualiser le détail d'un forage
- Afficher les cartes géologiques dans Google Earth grâce aux Géoservices

<http://infoterre.brgm.fr/page/geoservices-ogc>

## 5.5. Exigences juridiques de l'inscription

Le formulaire d'inscription imposé depuis 2005 comporte évidemment toutes les données scientifiques et géographiques relatives aux sites. Mais une part importante du dossier d'inscription est d'ordre juridique.

- d'indiquer le statut juridique de la propriété des diverses parcelles (privée, publique, coutumière, etc.) ;
- d'indiquer le statut de protection correspondant au bien (il peut être législatif, réglementaire, contractuel, traditionnel ou issu d'une planification) avec la date de classement et les textes applicables ;
- de décrire le fonctionnement effectif de la protection existante ;
- de présenter et fournir les plans approuvés et applicables sur le territoire du bien considéré, qu'ils soient nationaux, régionaux ou locaux, avec leur date et l'institution responsable de ces plans ;
- de fournir le plan de gestion approprié avec les éléments relatifs à sa mise en œuvre effective ;
- d'indiquer les sources de financement disponibles sur une base annuelle ;
- d'indiquer les organes et agents spécialisés attachés au site ;
- de préciser les aménagements existants pour les visiteurs et les estimations de fréquentation ;
- de fournir des informations sur la politique et les programmes de mise en valeur et de transmission du patrimoine.

Ce guide s'inscrit donc dans ces exigences, qui sont une nécessité afin de préserver notre patrimoine souterrain et de contribuer à la valorisation du territoire champenois.

## 5.6. Plan de Prévention des Risques naturels liés à la présence de cavités

Le Plan de Prévention des Risques naturels (PPRn) est un document réalisé par l'Etat qui réglemente l'utilisation des sols en fonction des risques naturels qu'ils comportent. La prévention consiste à assurer la sécurité des personnes et des biens en tenant compte des phénomènes naturels. A tort, les risques naturels apparaissent souvent inéluctables. En réalité, ces risques ne sont pas une fatalité : on peut les anticiper et ainsi les prévenir par une évaluation de l'état des cavités qui rentre dans cet objectif. Le Plan de Prévention des Risques naturels doit être pris en compte dans l'aménagement, la construction et la gestion du territoire. Il existe plusieurs familles de risques, la présence de cavités fait partie du risque « mouvement de terrain ».

## POUR EN SAVOIR PLUS

### Attention à la faune cavernicole !

Les 34 espèces de chauves-souris sont toutes protégées par différentes conventions et des lois, internationales, européennes et nationales.

Sont interdits sur tout le territoire métropolitain et en tout temps : la destruction, la mutilation, la capture ou l'enlèvement, la perturbation intentionnelle des chauves-souris dans le milieu naturel, le transport, la naturalisation, le colportage, la mise en vente, la vente ou l'achat, l'utilisation commerciale ou non des chiroptères.

Sur les parties du territoire métropolitain où l'espèce est présente, ainsi que dans l'aire de déplacement naturel des noyaux de populations existants, sont interdits la destruction, l'altération ou la dégradation des sites de reproduction et des aires de repos des animaux.

[www.parc-montagnedereims.fr](http://www.parc-montagnedereims.fr)

Comment savoir si une commune avec une cave est impactée par un Plan de Prévention aux Risques naturels (PPRn) ?

L'information préventive sur les risques demeure une obligation visée par le Code de l'environnement.

A cet effet chaque Préfet de Région regroupe dans un document unique les informations relatives aux risques naturels et technologiques présents dans chaque département.

Il s'agit du Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM) librement consultable en préfecture ou sur le site de la préfecture de région. Ce document liste toutes les communes avec une indication de la réalisation (ou non) d'un PPRn/Risques cavités qui prend en compte les affaissements et les effondrements de terrain. A titre d'exemple, plus de 30 % des communes de la Marne sont concernées par la présence de cavités, dont 20 % (environ) sont utilisées par les Maisons de Champagne (crayères et caves). Les communes concernées mettent à la disposition des acquéreurs, propriétaires, et locataires des biens un document où sont consignés les éléments suivants :

- la liste des risques naturels prévisibles et les risques technologiques à prendre en compte ;
- la délimitation des zones exposées ;
- la nature et l'intensité des risques dans chacune des zones exposées ;
- les documents auxquels le vendeur ou le bailleur peut se référer.

## POUR EN SAVOIR PLUS

**Un mouvement de terrain est un déplacement, plus ou moins brutal, du sol ou du sous-sol. Selon la vitesse de déplacement, on peut distinguer :**

**Les mouvements lents**, qui entraînent une déformation progressive des terrains, pas toujours perceptible par l'humain.

Ils regroupent les affaissements, les tassements, les glissements, le retrait-gonflement. Ils peuvent être précurseurs d'un mouvement rapide.

**Les mouvements rapides**, qui se propagent de manière brutale et soudaine.

Ils regroupent les effondrements, les chutes de pierres et de blocs, les éboulements, les coulées boueuses et les laves torrentielles.

## 6. MESURES DE CONFORTATION ET DE CONSERVATION - GÉNÉRALITÉS

### 6.1. Action préventive : le suivi de l'état des caves ou suivi de l'état du bien

Le moyen le plus économique à la disposition du responsable de la cave consiste à effectuer une inspection visuelle de la totalité de son réseau. Cette démarche suppose un minimum de connaissances que ce guide apporte à l'aide des fiches pages suivantes.

Le responsable effectue sa visite et reporte toutes les données qu'il constate sur la carte géotechnique précédemment réalisée. Le nombre de visites (semaine, mois, etc.) varie en fonction de l'état des points sensibles à observer. La première visite peut consister à établir la carte de l'état du bien (carte géotechnique) et forme ainsi un état de référence de la cavité qui sera efficace pour la conservation, uniquement grâce à une actualisation régulière.

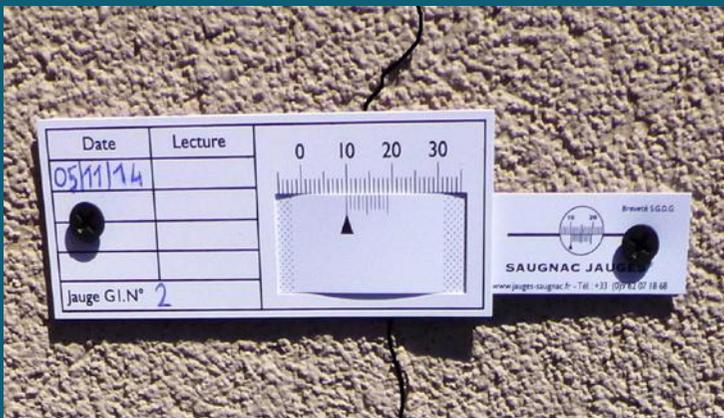
Le responsable doit être attentif aux principales caractéristiques suivantes :

- être concentré : couper son téléphone mobile ;
- solliciter et questionner le personnel de cave sur les zones suspectes : chutes de petits blocs, chute de mortier des joints des ouvrages maçonnés, arrivées d'eau ponctuelles ;
- observer l'état des piliers et organes porteurs : toit, voûtes, ouvrages de confortation, maçonneries, érosions par la manutention des angles des piliers ;
- observer la fissuration des sols, des dallages ;
- observer et consigner les venues d'eau ponctuelles et leur volume ;
- développement d'altérations biologiques ;
- consigner toutes les observations sur la carte avec la date de visualisation...

En cas de doute sur le caractère évolutif des certaines fissures, il faudra procéder à la pose de témoins visuels datés et localisés en ciment prompt (ciment naturel Vicat) ou en plâtre dur (plâtre fin Molda). Ces témoins sont réalisés par la pose de petits taquets de mortier qui chevauchent la fissure sur au moins 10 cm de part et d'autre. Il est également possible d'utiliser des jauges à lecture directe. En cas d'un constat de déformations plus général on fait appel à des dispositifs plus sophistiqués par la pose de capteurs permanents de mesure : convergencemètres, extensomètres, fissuromètres, inclinomètres, mesure de contraintes, écoute sismique en période d'inactivité.



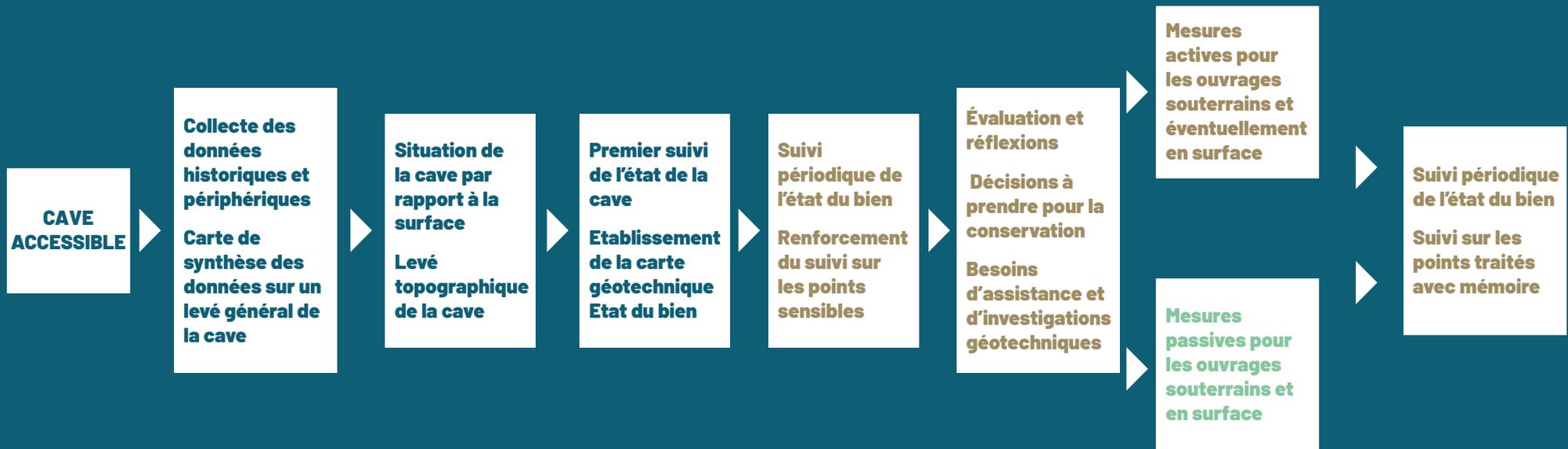
C163 Exemple de témoin réalisé en ciment prompt - PHT



C164 Exemple de jauge à lecture directe - PHT

## PROTOCOLE DE SUIVI ET D'ÉVALUATION DES CAVES

L'action de suivi de l'état des caves pour leur conservation, quelle que soit leur nature, se résume au tableau suivant :





C165 - 166 Exemple d'aménagement d'une entrée de cave - PHT



C166Bis Des entrées de caves qu'il faut encore améliorer...

## 6.2. Techniques de confortation - Mesures passives : gestion des espaces de surface et souterrains

### 6.2.1 Couvert végétal

La végétation qui se trouve au-dessus des cavités joue un rôle fondamental dans la régulation hygrométrique du sous-sol, ainsi que l'épaisseur et la nature des terrains situés au-dessus de la cavité.

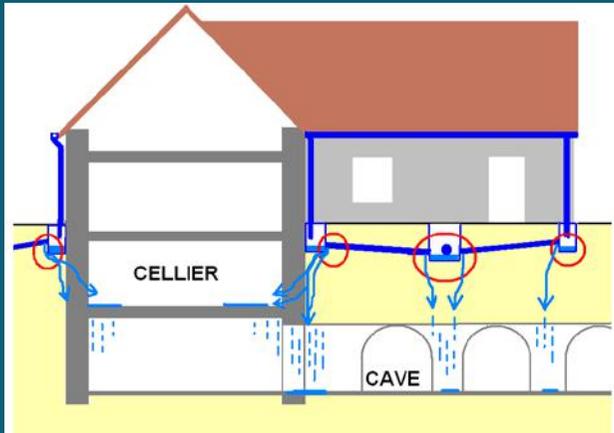
En cas de modification du couvert végétal des désordres peuvent apparaître rapidement.

#### CE QU'IL NE FAUT PAS FAIRE :

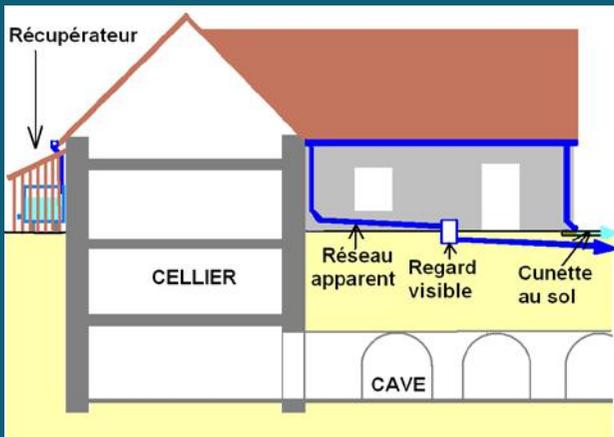
- défrichage total de la végétation en surface ;
- plantation d'essences à haute tige avec un enracinement profond, avec creusement de cônes de plantation ;
- arrosage généralisé avec un système automatique au-dessus des cavités qui aboutit le plus souvent à une sur-humidification du sol et du sous-sol ;
- établir un couvert végétal hétérogène avec d'importantes zones non plantées et d'importantes zones plantées.

#### CE QU'IL FAUT FAIRE :

- conserver un couvert végétal au-dessus des cavités qui correspond à l'épaisseur et à la nature des terrains situés au-dessus des cavités ;
- choisir des essences adaptées à faible croissance et à faible enracinement ;
- arrosage maîtrisé et localisé en fonction des besoins ;
- taille régulière des arbres et régulation de leur croissance.



C167 La problématique des réseaux systématiquement dissimulés : on entretient lorsqu'il y a un désordre - PHT



C168 : Des réseaux visibles permettent un contrôle permanent - PHT

## 6.2.2 Voirie privée et publique, réseaux hydrauliques et autres

La surveillance de l'état de la voirie, des réseaux d'adduction, d'écoulement d'eaux usées et des eaux pluviales en surface visible et non visible doit être une préoccupation majeure.

Un apport d'eau inopiné et brutal dans le sous-sol cause le plus souvent les effets suivants :

- une augmentation du poids propre des terrains de l'ordre de 30 % ou plus ;
- une baisse considérable de la résistance mécanique des terrains ou des matériaux par un affaiblissement de la résistance à la compression de l'ordre de 40 % ;
- un gonflement des terrains et donc une augmentation du volume de ceux-ci, surtout en période de gel ;
- une dissolution ou un entraînement des particules fines qui déstructurent la cohérence des terrains.



168bis/ter : Exemple de désordres propices à l'humidité

### CE QU'IL NE FAUT PAS FAIRE :

- attendre dès la constatation d'un désordre ;
- couper les alimentations sans faire les travaux nécessaires ;
- se contenter de vérifier uniquement les réseaux où l'on suppose qu'il existe une anomalie.

### CE QU'IL FAUT FAIRE :

- vérification périodique de la totalité des réseaux et réparation des incidents constatés ;
- vérifications périphériques.



C 169 Ripage d'un pieu de fondation dans une cave oubliée - PHT



C169Bis Affaissement de piler dans une cave - PHT

### 6.2.3 Bâtiments de surface : renforcements des structures et modifications

Le renforcement des structures ou les modifications des bâtiments en surface sans la prise en compte des caves sous-jacentes est une source de déstabilisation de celles-ci.

#### CE QU'IL NE FAUT PAS FAIRE :

- oublier de faire un plan qui superpose le projet sur les cavités existantes ;
- oublier de tenir compte de l'épaisseur et de la nature des terrains surincombants des cavités dans l'établissement d'un projet de surface ;
- choisir un système de fondations profondes plutôt qu'un système de fondations superficielles ;
- utilisation d'engins surdimensionnés pour les travaux ;

#### CE QU'IL FAUT FAIRE :

- choisir un système de fondations superficielles en cas de construction en surface, radier, longrines rigidifiées, etc. ;
- vérifier l'épaisseur et la nature des terrains surincombants par sondages ;
- tenir compte de la fracturation des roches et de l'orientation des caves par rapport au projet en surface ;
- en cas de fondations profondes, prévoir de traverser les cavités en conservant celles-ci ;
- éviter les vibrations et les surcharges ponctuelles par l'utilisation d'engins surdimensionnés.



C1593 Rupture récente du toit d'une galerie : les traces d'outils Servent de témoins - PHT



C170 Attention danger ! - PHT



C170Bis Absence de main courante, escalier encombré... - PHT



C170 Ter Puit non sécurisé... - PHT

#### 6.2.4 Traitement des parois des caves et entretiens courants (voir également la fiche altérations biologiques)

Les parois des caves, qu'elles soient en pleine roche ou maçonnées, doivent être laissées perspirantes afin de faciliter les échanges hygrothermiques dus aux variables saisonnières.

##### CE QU'IL NE FAUT PAS FAIRE :

- recouvrir totalement les parois d'une cave avec un enduit à base de ciment ou rejointoyer les ouvrages avec un mortier de ciment ;
- appliquer un béton projeté sur la totalité des parois d'une cave ;
- appliquer un hydrofuge ou une peinture filmogène sur les parois d'une cave.

##### CE QU'IL FAUT FAIRE :

- enduire les parois si cela est nécessaire avec un enduit à base de chaux hydraulique naturelle de type NHL conforme à la norme EN 459-1 ;
- idem à ci-dessus pour les travaux de rejointoiement ;
- entretenir les parois en craie ou les maçonneries en carreaux de craie avec un badigeon de chaux aérienne de type CL 90 conforme à la norme EN 459-1 (voir altérations biologiques).

#### 6.2.5 Sécurisation liée aux risques de chutes de personnes et dallages

Il faut impérativement respecter la réglementation en vigueur sur ce sujet afin de prévenir tout accident lors des visites.

##### CE QU'IL NE FAUT PAS FAIRE :

- établir une main courante « molle » dans une descente de cave (exemple : corde fixée au mur) ;
- absence de garde-corps et d'éclairage même dans une cavité non visitée.

##### CE QU'IL FAUT FAIRE :

- établir des mains-courantes en matériaux rigides et un éclairage pour chaque escalier ;
- respecter la hauteur obligatoire de 1 m pour les garde-corps d'escaliers ou autres.



C1712 Les blocs en aggloméré de sable et ciment courants ne sont pas conçus pour les ouvrages de soutènement – PHT

## POUR EN SAVOIR PLUS

### GRAND DICOBAT DICTIONNAIRE DES OUVRAGES DU BATIMENTS

DICOBAT concentre en un volume toutes les connaissances essentielles du bâtiment, en neuf comme en rénovation avec des explications claires et précises, permettant de toujours utiliser le mot juste, et ainsi de gagner encore en professionnalisme dans tous les domaines : conception, gros œuvre, équipements techniques, isolation, outillage, etc.

Cet ouvrage de référence constitue une base unique pour répondre à vos questions, comprendre, vérifier, préciser tout le vocabulaire de la construction.

- 17000 définitions commentées, tous corps d'état.
- 4000 illustrations éclairantes, pour un plaisir de consultation accru.
- Un lexique anglais / français de plus de 10 000 termes
- Les références des normes et DTU.

864 pages - reliure luxe - 160 x 204 mm  
ISBN 979-10-92348-07-1 - Auteurs : Aymeric et Jean de Vigan. 2019

## 6.2.6 Consolidation des ouvrages souterrains de soutien existants

Les ouvrages de soutien anciens sont souvent laissés sans inspection. Le moindre désordre de ceux-ci indique un mouvement des terrains qui est évolutif ou non.

### CE QU'IL NE FAUT PAS FAIRE :

- reprendre les ouvrages avec des matériaux anachroniques (exemple: reprise d'un ouvrage en brique ou en moellon avec du béton, dallage contre les parois, etc. ;
- condamner les accès prévus dans ces ouvrages.

### CE QU'IL FAUT FAIRE :

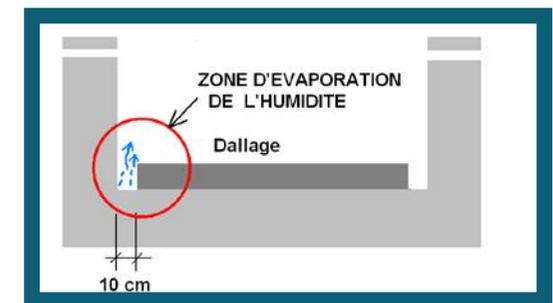
- respecter la nature des matériaux utilisés initialement pour la construction des ouvrages et faire un relevé précis des ouvrages afin de contrôler leur stabilité ;
- dallage avec rigoles latérales afin de faciliter l'évacuation de l'humidité ;
- bien identifier les matériaux constitutifs et la fonction de l'ouvrage: mur de soutien ? mur de barrage ? etc.



C171 A éviter... - PHT



A éviter...



Conseillé ...

C171Bis Règles pour un dallage de cave - PHT



C1712 Conserver les systèmes existants d'aération qui ont fait leurs preuves, impostes, parapluies, etc. - PHT

### 6.2.7 Ventilation, aération, gaz toxiques

L'atmosphère de la cave conditionne son utilisation et son aptitude à la visite. Il faut donc assurer une ventilation (mouvement d'air) et une aération (renouvellement d'air) convenable afin de garantir la salubrité de la cavité tout en tenant compte de la température et de l'humidité relative nécessaires à la conservation des ouvrages et des vins.

Ventilation et aération se conjuguent toujours dans les bâtiments anciens.

Les gaz les plus dangereux issus des matières organiques en décomposition sont : le dioxyde de carbone, l'hydrogène sulfuré, le méthane.

Le CO<sub>2</sub> est le gaz mortel le plus présent dans les cavités. Incolore et inodore il est plus lourd que l'air et s'accumule dans le fond des caves. Sa détection se faisait autrefois avec une bougie qui s'éteignait en l'absence d'oxygène.

L'hydrogène sulfuré, plus rare dans les cavités occupées, est un gaz mortel qui provient de la décomposition de matières organiques, présent surtout dans les réseaux d'eau usée.

Le méthane, gaz mortel explosif, est très peu présent dans les caves sauf en cas de fuite de gaz de ville en surface.

Le monoxyde de carbone est un gaz mortel incolore et inodore qui provient de la combustion. Il est donc interdit de faire du feu dans une cave, et donc d'y entreposer des matières combustibles. Il existe des détecteurs polyvalents pour ces types de gaz.

### 6.2.8 Température, hygrométrie

La température idéale admise dans une cave pour la conservation des vins est de l'ordre de 11 à 12°. Les variations de température ne doivent pas être violentes et extrêmes car elles perturberaient la maturation des vins. Le maximum est de 14°. A partir de cette température, on observe la prolifération de micro-organismes. Le minimum est de 10°, toutefois on a relevé dans les caves basses, dites caves froides, des températures de l'ordre de 9°. Il s'agit là d'une spécificité de la Champagne car le froid stabilise les vins effervescents.

Toute la difficulté est d'éviter les écarts brusques de températures entre l'été et l'hiver. C'est donc à cet effet que l'on a installé des soupiraux orientés au nord pour l'apport de fraîcheur la nuit, en été, et au sud pour l'apport de douceur le jour, en hiver.

L'occultation des soupiraux posera inévitablement des problèmes car les caves anciennes ont été conçues ainsi.

Il est regrettable de dépenser de l'énergie pour climatiser les caves anciennes alors qu'une simple gestion des ouvertures de soupiraux suffit. Il en va de même pour les essors des crayères, qui doivent disposer d'un système d'ouverture et de fermeture.



C172 C173 Méfaits des enduits ciments sur la craie - PHT



C174 La conservation des soupiraux est essentielle - PHT

L'humidité ambiante, qui correspond au taux de vapeur d'eau dans l'air, doit être supérieure à 60 %. Depuis l'utilisation des capsules, cette donnée est moins vérifiée. On constate souvent une humidité supérieure de l'ordre de 70 à 80 %, ou plus, qui n'est pas catastrophique pour la conservation des vins.

Les nouvelles technologies facilitent le suivi des paramètres hygrothermiques des caves, avec des appareils de mesure accessibles qui enregistrent les températures et l'humidité en mémorisant les données sur plus de 30 000 points de mesure.

Les intervalles d'acquisition sont programmables et stockés sur clé USB pour être ensuite interprétés avec un logiciel livré avec l'instrumentation.

Le facteur que l'on oublie le plus souvent, c'est l'influence, sur les matériaux qui constituent la cave, de la température et de l'hygrométrie qui génèrent des dilatations différentielles.

Pour la craie : de par sa texture, elle emmagasine une grande quantité d'eau qui peut aller au-delà de 300 litres par mètre cube. La masse volumique de la craie, comme tous matériaux, varie en fonction de sa teneur en eau.

Une brusque variation, tel un séchage rapide, fait rétracter la craie ; un apport important d'eau augmente son poids et son volume. Cela se traduit par des effondrements localisés, des chutes de blocs et des fissurations. La régulation hygrométrique de la craie dans la construction s'effectue majoritairement par évaporation. Il ne faut donc jamais recouvrir le matériau craie avec un produit filmogène imperméable.

Pour les moellons en calcaire autres que la craie : les roches, en fonction de leur dureté, ont une porosité variable qui leur permet également un emmagasinement de l'eau.

Cette eau s'évapore ensuite par le matériau et surtout par les joints des maçonneries réalisés avec des sables, de la chaux et (ou) de la terre argileuse. Il ne faut donc jamais recouvrir le matériau ou refaire les joints avec un produit filmogène imperméable.

### **CE QU'IL NE FAUT PAS FAIRE**

- condamner les soupiraux et les puits ;
- enduire au mortier de ciment les parois d'une cave.

### **CE QU'IL FAUT FAIRE**

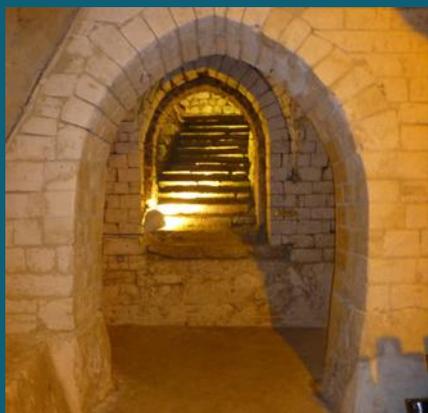
- régulation par l'ouverture des soupiraux ;
- enduire ou rejointoyer les maçonneries avec un enduit de mortier de chaux naturelle sans ajouts.



C175 Arcs en maçonnerie de moellons de craie - MG



C176 Pilier en béton armé - MG



C177 Arcs en tiers points - PHT

## 6.3. Mesures actives : confortation, soutien et reprise d'ouvrages en souterrain

### 6.3.1 Consolidation par piliers de soutien en maçonnerie

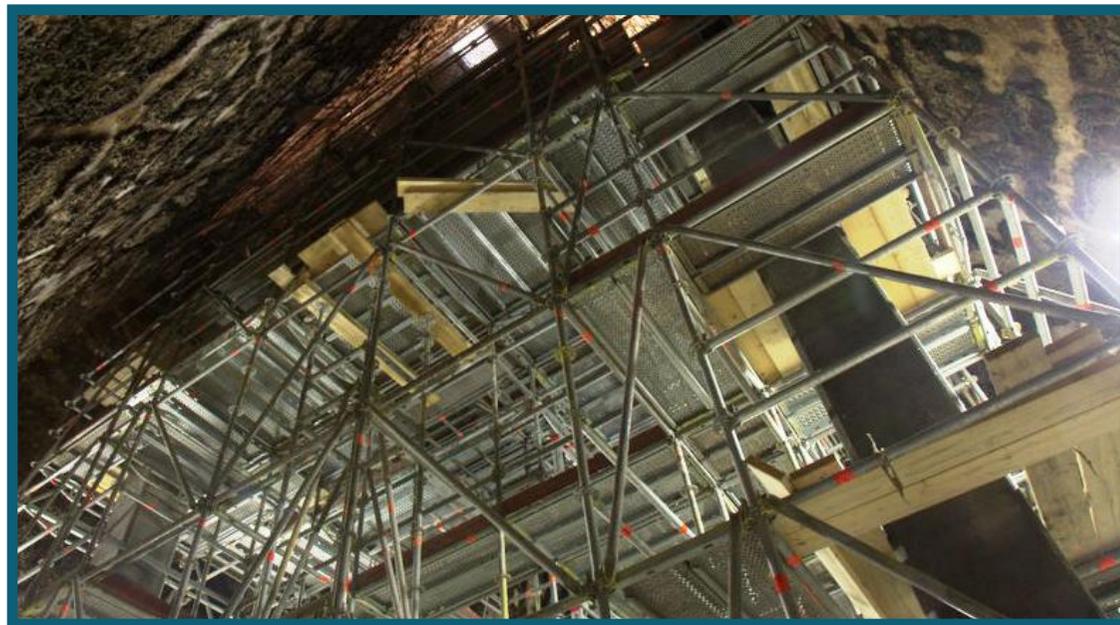
Cette technique est la plus couramment employée du fait de sa relative facilité de mise en œuvre. Le principe est de soutenir le ciel d'une cavité par la création d'appuis intermédiaires afin de diminuer la portée non soutenue.

On utilise cette technique aussi bien pour le soutien des ciels qui se détériorent qu'à titre préventif lors de l'établissement d'un projet en surface.

Les points d'appuis sont la plupart du temps constitués par des piliers ou des buttons en maçonnerie de moellons, de brique ou en béton armé.

Cette méthode, utilisée aussi bien pour les caves maçonnées que celles creusées en pleine roche, permet de conserver l'accessibilité des galeries. Cependant, l'état du ciel de la cavité doit être relativement sain afin de ne pas comporter de risques pour le personnel.

On porte une attention particulière au terrain d'assise des piliers afin de s'assurer qu'ils reposent bien sur un terrain non remanié et sur le clavage, afin d'éviter toute déformation (le clavage consiste à bien remplir l'espace entre le haut du pilier et le ciel de la cavité afin que celui-ci repose sur le pilier sans tassement).



C177Bis Échafaudages pour le coffrage de piliers en béton armé - PHT

### 6.3.2 Consolidation par arcs et voûtes maçonnés

Des voûtes maçonnées sous les ciels de cavités ou sous les voûtes existantes en maçonnerie ont toujours été réalisées dans les caves.

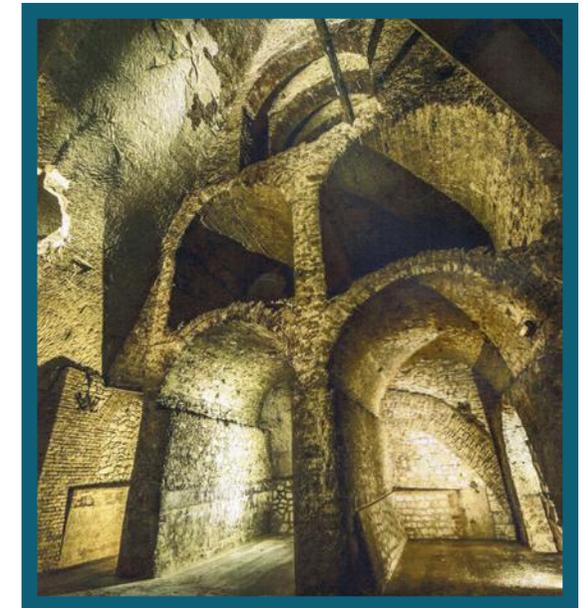
Les plus spectaculaires sont certainement les voûtes de doublage ou arcs doubleaux réalisés en brique. L'intérêt majeur de ces ouvrages est de répartir les contraintes exercées sur le ciel vers les parois de la cavité. L'esthétique de ces ouvrages permet une parfaite intégration dans les caves existantes.



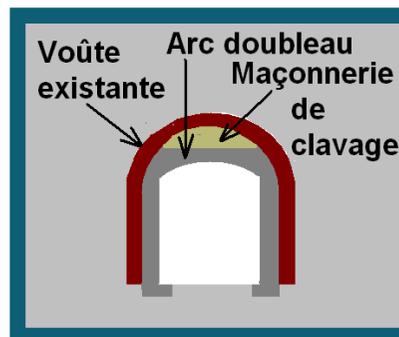
C178 C179 Exemples de consolidations par arcs en brique de terre cuite - MG



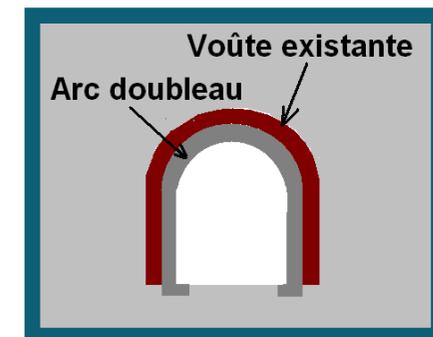
C180 Renforcement par arcs doubleaux - PHT



C181 Soutien par arcs successifs superposés - PHT



C182 C183 Principes de confortation par arc doubleau AVEC ou SANS clavage - PHT





C178  
Exemples de consolidations par cadres en béton armé  
- MG



C179 Béton armé et boulonnages sont souvent associés dans les renforts  
- MG

### 6.3.3 Consolidation par cadres ou arcs en béton armé.

La construction de cadre en béton armé est couramment utilisée dans la consolidation des caves car sa mise en œuvre, reposant sur le principe « poteau/poutre », est accessible à la majorité des entreprises.

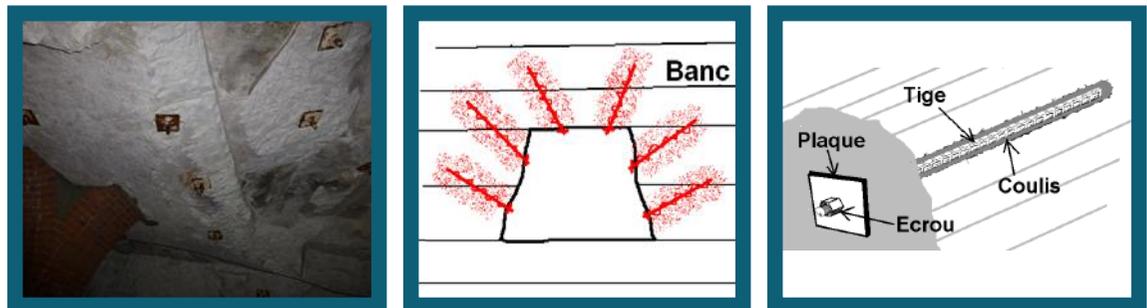
On ne peut pas dire qu'il s'agit de la solution la plus esthétique dans la plupart des cas. La mise en œuvre s'effectue avec un coffrage à l'intérieur duquel se trouve une armature. Le coffrage est ensuite rempli de béton, puis enlevé après un temps de prise réglementaire. On réalise souvent par économie un « faux cadre » : les points d'appuis des poteaux sont engravés dans la roche sans être liés entre eux par une longrine de fondation. Cette disposition est déconseillée car en cas de fortes contraintes latérales l'ouvrage sera déstabilisé.

Le même principe est applicable à des confortations en poutres métalliques, plus facile à mettre en œuvre (Cependant celles-ci s'oxydent irrémédiablement dans le temps).

### 6.3.4 Consolidation par boulonnage

Cette technique ne s'applique que pour les caves creusées en pleine roche ou situées dans d'anciennes carrières. L'objectif est d'améliorer la tenue du ciel de la cavité en créant une armature dans la masse de roche qui surplombe les vides. Cette méthode fonctionne dans un massif rocheux en place peu fracturé. Le principe permet d'obtenir un accroissement de l'épaisseur de la dalle rocheuse du ciel qui subit des efforts de flexion importants.

La méthode consiste à forer des trous sur la hauteur des bancs pour introduire des boulons ou tiges dont la longueur est généralement inférieure à 4 mètres. Ces boulons sont ensuite ancrés avec l'injection d'un mortier/colle sans retrait dans la roche. L'extrémité visible de la tige comporte un filetage qui permet sa mise en tension par serrage d'un écrou sur une plaque d'appui. Dans le cas des zones de crayères où un risque de chute de petits blocs est probable, on associe à ce système la fixation d'un grillage insensible à la corrosion.



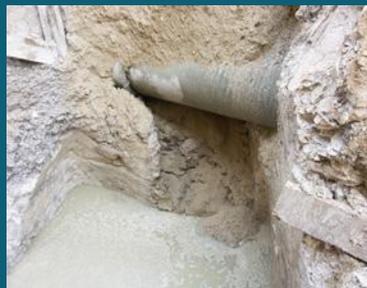
C178 C179 Exemples de consolidations par arcs en brique de terre cuite - MG



C189 Béton projeté sur une paroi en craie - PHT



Phase 1 : identification de la cause. Localisation des réseaux existants



Phase 2 : Excavation et localisation fortuite d'autres sources de désordre

### 6.3.5 Consolidation par béton projeté

L'utilisation du béton projeté est effectuée sur les parois susceptibles de s'altérer rapidement en réduisant leurs capacités mécaniques. Cette technique ponctuelle est à associer avec d'autres méthodes assurant le soutien des cavités. Il est vivement déconseillé de projeter du béton sur la totalité des parois d'une cave en craie ou en maçonnerie car cela empêche les micro-circulations d'eau au travers des joints. Cela cause à moyen terme une accumulation d'eau derrière la surface du béton projeté, qui altère les propriétés mécaniques de la roche ou des maçonneries en place du fait de la saturation en humidité, même en présence de barbacanes (orifices destinés à l'évacuation de l'eau). Cette technique doit être utilisée très localement. On préférera si possible une consolidation ponctuelle par ouvrages maçonnés.

### 6.3.6 Consolidation et remplissage par injection de coulis

**Il s'agit d'une technique extrême car elle condamne définitivement la cavité. Cette mesure ne s'inscrit pas dans l'objectif de conservation des biens,**

cependant il est parfois nécessaire de combler certaines cavités trop dégradées afin d'assurer la pérennité des autres ouvrages. On ne peut donc exclure totalement cette méthode qui doit être envisagée en dernier ressort. Cette technique, qui s'applique à tous les types de caves, consiste à combler un vide par injection d'un coulis adapté pour établir une continuité entre le sol supérieur et le toit de la cavité afin de stabiliser l'ensemble. Le matériau mis en place doit pouvoir, à terme, supporter sans déformation les ouvrages en surface prévus ou existants. La méthode doit respecter les conditions suivantes :

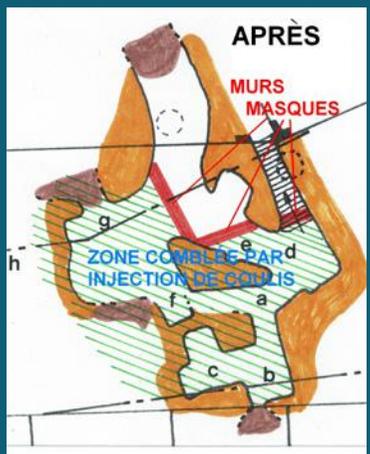
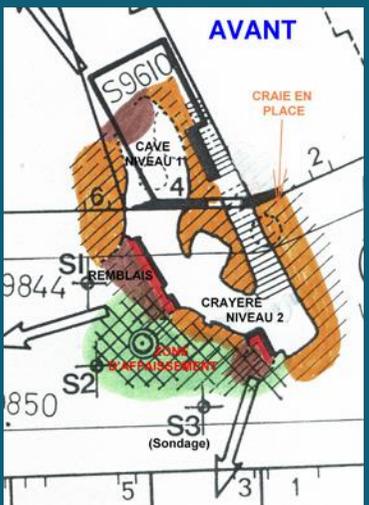
- sol d'assise du remplissage non remanié, purge des remblais trop lâches ou consolidation de ceux-ci ;
- contrôle de la stabilité des parois périphériques de la zone de remplissage afin de déterminer les poussées latérales du remplissage qui risquent de dégrader les piliers et parois en place ;
- établissement des ouvrages de barrage ou de ceinture suffisamment résistants afin d'éviter que les remplissages ne se répandent dans tout le sous-sol, ces ouvrages assurant la conservation des cavités périphériques.



Phase 3: Purgé des sols d'assise du remplissage et construction des murs masques



Phase 4: Remplissage avec un coulis adapté ré-excavable par nappes successives après prises de celles-ci



Ne pas oublier de faire un mémoire de travaux...

- comblement effectué par phases successives en attente de prise afin d'éviter une charge importante en cas d'un grand volume de remplissage ;
- établissement d'une dernière phase de remplissage, dite de clavage, bien contrôlée afin de soutenir efficacement les ciels ;
- la formulation des matériaux de remplissage sera calculée en fonction des contraintes locales et de la nature des matériaux qui constituent la cavité, afin de s'en approcher le plus ;
- contrôle des réseaux (eau, gaz, électricité) et coupure impérative ou déviation de ceux-ci pendant les travaux ;
- sondages destructifs directs à réaliser en cas du moindre doute sur la présence d'une cavité inconnue.

### 6.3.7 Gestion des eaux souterraines

La gestion des eaux souterraines est à la fois une préoccupation majeure au moment du creusement des caves et une préoccupation pendant la gestion des caves.

Il existe plusieurs systèmes de gestion des eaux souterraines :

- avant la mise en place des adductions en eau potable, qui se généralise en Champagne seulement après la Première Guerre mondiale, l'unique ressource en eau potable provenait des sources et des puits. Il est fréquent d'avoir dans les caves anciennes des puits pour l'eau qui communiquent également avec la surface ;
- on a également réalisé des citernes lors du creusement des caves avec des systèmes de captage, suite aux découvertes plus ou moins inopinées de courants d'eau qui circulent dans les fractures de la roche.

Les caves utilisées initialement par les brasseries et occupées ensuite par les Maisons de Champagne avaient un besoin important en eau et disposaient de puits à fort débit (exemples: Maison Jacquesson à Châlons-en-Champagne, Maisons Martel et Drappier à Reims, Maison Mercier à Epernay).

### 6.3.8 Condamnation et obturation de cavités inutilisées

En cas de fermeture pour des raisons de sécurité, de changement de propriétaire ou autre des galeries d'une cavité, il convient d'éviter d'obstruer totalement par un mur masque les communications. Il est vivement conseillé de réaliser des trappes d'accès dans les ouvrages d'obstruction fermés par des grilles, afin de permettre une inspection ultérieure.

### 6.3.9 Fondations profondes des ouvrages en surface : traversées des caves

Dans le cas de la conception d'un projet important en surface, il est tout à fait possible de réaliser des fondations qui traversent les caves existantes sans les condamner. Cette technique par pieux coffrés ou puits de fondation permet la conservation des caves et la mise à disposition des tréfonds indépendamment de l'occupation de la surface.



C190 Pieux modernes de fondations profondes dans une cave - PHT



C190Bis Cas extrême d'ouvrage en béton armé. - PHT



C190Ter Essor entièrement repris en briques pour servir d'assise aux bâtiments de surface -PHT

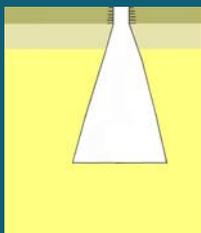
# 7. MÉCANISMES DES DÉSDORDRES ET REMÈDES FICHES TECHNIQUES

---

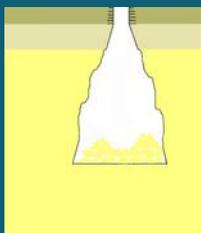
## 7.1. Caves en pleine craie

## FICHE 7.1.1

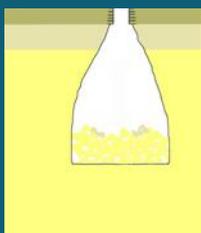
# Fontis et effondrement localisés d'un essor en pleine craie



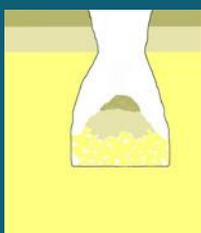
PHASE 1



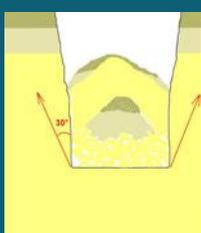
PHASE 2



PHASE 3



PHASE 4



PHASE 5

### MESURES DE PROTECTION DES PERSONNES ET DES BIENS

Périmètres de sécurité	Inspection immédiate des ouvrages périphériques en phase 3 à 5	Localisation des réseaux systématique	Circulation des personnes interdite en phases 3 à 5	Etaiements provisoires à prévoir	Surveillance régulière en phases 2 et 3 et permanente en phases 4 et 5
Sécurisation liée aux chutes de blocs					
Sécurisation liée aux chutes de personnes					

### METHODE D'EXAMEN - PARAMETRES A RELEVÉR

Relevé in situ le plus rapide possible	Recherche de cavités périphériques	Sondages destructifs	Affaissements périphériques		
----------------------------------------	------------------------------------	----------------------	-----------------------------	--	--

### DEFAUTS ASSOCIES A RECHERCHER - FACTEURS AGGRAVANTS - CAUSALITE

Mise en charge hydraulique et variations de l'aquifère :	Sites BRGM
Propriétés géomécaniques des roches et fracturations :	Ouvrages techniques
Taux d'exploitation ou de creusement, géométrie des cavités :	Nature des cavités et type d'exploitation
Facteurs anthropiques dus au milieu urbain :	Réseaux, fuites
Hygrométrie et influence du temps :	Site Météo-France
Abandon et obstruction :	Recherche archivistique

### REMEDES - MESURES PASSIVES/PREVENTIVES GESTION DES ESPACES EN SURFACE ET EN SOUTERRAIN

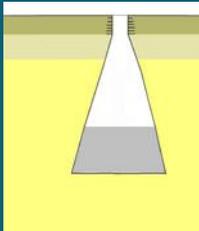
Couvert végétal, voirie, réseaux hydrauliques :	Etat à déterminer en permanence
Bâtiments, renforcement des structures et modifications :	Uniquement en phases 1 et 2
Traitement des parois des caves et entretien courant :	Uniquement en phases 1 et 2
Consolidation des ouvrages de soutien existants :	Uniquement en phases 1 et 2
Inspections régulières et surveillance des réseaux :	Régulièrement
Ventilation, aération, gaz toxiques :	Régulièrement
Hygrométrie :	Maintenir les valeurs en phase 3
Ouvertures et accès :	A contrôler

### REMEDES - MESURES ACTIVES/PREVENTIVES - CONFORTATIONS, SOUTIENS ET REPRISES D'OUVRAGE

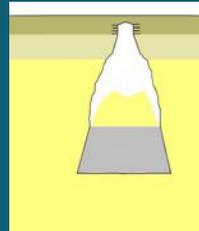
Consolidation par pilier de soutien en maçonnerie :	Uniquement en phases 1 à 3
Consolidation par chevillage en arc :	Uniquement en phases 1 à 2
Consolidation et reprise de voûtes :	Uniquement en phases 1 à 3
Consolidation par cadre en maçonnerie :	Uniquement en phases 1 à 3
Consolidation par boulonnage :	Uniquement en phases 1 à 2
Consolidation par béton projeté :	Déconseillée
Consolidation par coulis injecté :	Uniquement en phases 4 à 5
Remblaiement et remplissage :	Uniquement en phases 4 à 5
Gestion des eaux souterraines :	Canalisation des eaux souterraines quelles que soient les interventions

**FICHE 7.1.2**

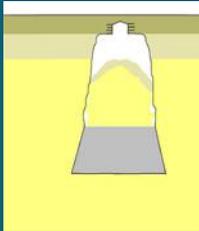
**Fontis et effondrement localisés d'un essor en partie remblayé**



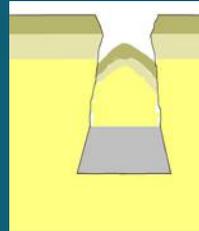
PHASE 1



PHASE 2



PHASE 3



PHASE 4



**MESURES DE PROTECTION DES PERSONNES ET DES BIENS**

Périmètres de sécurité Sécurisation liée aux chutes de blocs Sécurisation liée aux chutes de personnes	Inspection immédiate des ouvrages périphériques en phase 3 à 5	Localisation des réseaux systématique	Circulation des personnes interdite en phases 3 à 5	Etaitements provisoires à prévoir	Surveillance régulière en phase 2 et permanente en phases 3 et 4
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------	---------------------------------------	-----------------------------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------------------------------------

**METHODE D'EXAMEN - PARAMETRES A RELEVÉR**

Relevé in situ le plus rapide possible	Recherche de cavités périphériques	Sondages destructifs	Affaissements périphériques		
----------------------------------------	------------------------------------	----------------------	-----------------------------	--	--

**DEFAUTS ASSOCIES A RECHERCHER - FACTEURS AGGRAVANTS - CAUSALITE**

Mise en charge hydraulique et variations de l'aquifère :	Sites BRGM
Propriétés géomécaniques des roches et fracturations :	Ouvrages techniques
Taux d'exploitation ou de creusement, géométrie des cavités :	Nature des cavités et type d'exploitation
Facteurs anthropiques dus au milieu urbain :	Réseaux, fuites
Hygrométrie et influence du temps :	Site Météo-France
Abandon et obstruction :	Recherche archivistique

**REMEDES - MESURES PASSIVES/PREVENTIVES  
GESTION DES ESPACES EN SURFACE ET EN SOUTERRAIN**

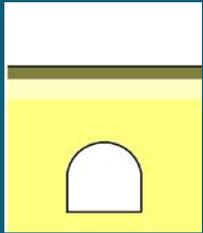
Couvert végétal, voirie, réseaux hydrauliques :	Etat à déterminer en permanence
Bâtiments, renforcement des structures et modifications :	Uniquement en phases 1 à 3
Traitement des parois des caves et entretien courant :	Uniquement en phase 1
Consolidation des ouvrages de soutien existants :	Uniquement en phases 1 et 2
Inspections régulières et surveillance des réseaux :	Impérative
Ventilation, aération, gaz toxiques :	Régulièrement
Hygrométrie :	Maintenir les valeurs en phases 1 et 2
Ouvertures et accès :	A contrôler

**REMEDES - MESURES ACTIVES/PREVENTIVES - CONFORTATIONS, SOUTIENS ET REPRISES D'OUVRAGE**

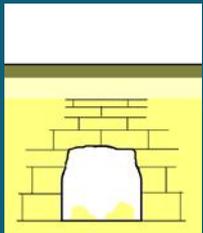
Consolidation par pilier de soutien en maçonnerie :	Uniquement en phases 1 et 2
Consolidation par chevillage en arc :	Uniquement en phase 1
Consolidation et reprise de voûtes :	Uniquement en phases 1 et 2
Consolidation par cadre en maçonnerie :	Uniquement en phases 1 et 2
Consolidation par boulonnage :	Uniquement en phase 1
Consolidation par béton projeté :	Déconseillée
Consolidation par coulis injecté :	Uniquement en phases 3 à 4
Remblaiement et remplissage :	Uniquement en phases 3 à 4 avec purge ou consolidation des remblais
Gestion des eaux souterraines :	Canalisation des eaux souterraines quelles que soient les interventions

### FICHE 7.1.3

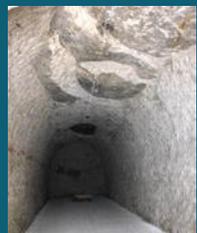
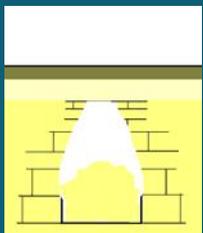
## Fontis et effondrement d'une galerie de plein cintre taillée en pleine craie



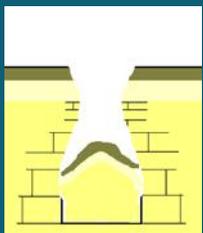
PHASE 1



PHASE 2



PHASE 3



PHASE 4

#### MESURES DE PROTECTION DES PERSONNES ET DES BIENS

Périmètres de sécurité Sécurisation liée aux chutes de blocs Sécurisation liée aux chutes de personnes	Inspection immédiate des ouvrages périphériques en phase 3 à 5	Localisation des réseaux systématique	Circulation des personnes interdite en phases 3 à 4	Etais provisoires à prévoir	Surveillance régulière en phases 2 et 3 et permanente en phase 4
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------	---------------------------------------	-----------------------------------------------------	-----------------------------	------------------------------------------------------------------

#### METHODE D'EXAMEN - PARAMETRES A RELEVÉ

Relevé in situ le plus rapide possible	Recherche de cavités périphériques	Sondages destructifs	Affaissements périphériques	Connaissance des terrains sus-jacents	
----------------------------------------	------------------------------------	----------------------	-----------------------------	---------------------------------------	--

#### DEFAUTS ASSOCIES A RECHERCHER - FACTEURS AGGRAVANTS - CAUSALITE

Mise en charge hydraulique et variations de l'aquifère :	Sites BRGM
Propriétés géomécaniques des roches et fracturations :	Ouvrages techniques
Taux d'exploitation ou de creusement, géométrie des cavités :	Nature des cavités et type d'exploitation
Facteurs anthropiques dus au milieu urbain :	Réseaux, fuites
Hygrométrie et influence du temps :	Site Météo-France
Abandon et obstruction :	Recherche archivistique

#### REMEDES - MESURES PASSIVES/PREVENTIVES GESTION DES ESPACES EN SURFACE ET EN SOUTERRAIN

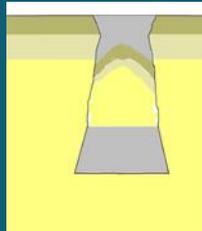
Couvert végétal, voirie, réseaux hydrauliques :	Etat à déterminer en permanence
Bâtiments, renforcement des structures et modifications :	Uniquement en phases 1 à 3
Traitement des parois des caves et entretien courant :	Uniquement en phases 1 à 3
Consolidation des ouvrages de soutien existants :	Uniquement en phases 1 à 3
Inspections régulières et surveillance des réseaux :	Régulièrement
Ventilation, aération, gaz toxiques :	Régulièrement
Hygrométrie :	Maintenir les valeurs en phase 3
Ouvertures et accès :	A contrôler

#### REMEDES - MESURES ACTIVES/PREVENTIVES - CONFORTATIONS, SOUTIENS ET REPRISES D'OUVRAGE

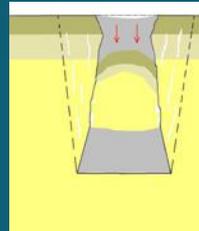
Consolidation par pilier de soutien en maçonnerie :	Uniquement en phases 1 à 3
Consolidation par chevillage en arc :	Uniquement en phases 1 à 3
Consolidation et reprise de voûtes :	Uniquement en phases 1 à 3
Consolidation par cadre en maçonnerie :	Uniquement en phases 1 à 3
Consolidation par boulonnage :	Uniquement en phases 1 à 2
Consolidation par béton projeté :	Déconseillée
Consolidation par coulis injecté :	Uniquement en phases 3 à 4
Remblaiement et remplissage :	Uniquement en phases 3 à 4
Gestion des eaux souterraines :	Canalisation des eaux souterraines quelles que soient les interventions

#### FICHE 7.1.4

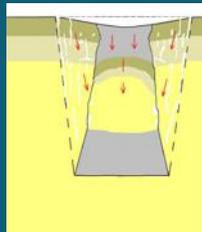
### Affaissement du remplissage d'un essor totalement remblayé



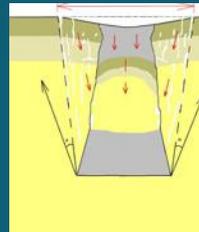
PHASE 1



PHASE 2



PHASE 3



PHASE 4



#### MESURES DE PROTECTION DES PERSONNES ET DES BIENS

Périmètres de sécurité Sécurisation liée aux chutes de blocs Sécurisation liée aux chutes de personnes	Inspection immédiate des ouvrages périphériques en phase 3 à 5	Localisation des réseaux systématique	Circulation des personnes interdite en phases 3 à 5	Etaitements provisoires à prévoir	Surveillance régulière en phases 2 et 3 et permanente en phases 4 et 5
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------	---------------------------------------	-----------------------------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------------------------------------------

#### METHODE D'EXAMEN - PARAMETRES A RELEVÉ

Relevé in situ le plus rapide possible	Recherche de cavités périphériques	Sondages destructifs	Affaissements périphériques	Nature des terrains de recouvrement	
----------------------------------------	------------------------------------	----------------------	-----------------------------	-------------------------------------	--

#### DEFAUTS ASSOCIES A RECHERCHER - FACTEURS AGGRAVANTS - CAUSALITE

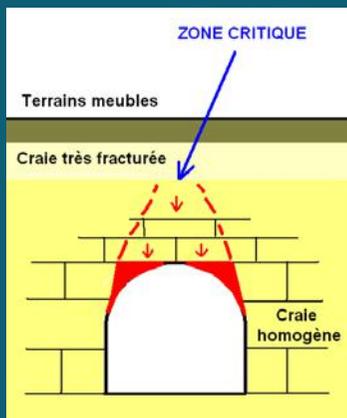
Mise en charge hydraulique et variations de l'aquifère :	Sites BRGM
Propriétés géomécaniques des roches et fracturations :	Ouvrages techniques
Taux d'exploitation ou de creusement, géométrie des cavités :	Nature des cavités et type d'exploitation
Facteurs anthropiques dus au milieu urbain :	Réseaux, fuites
Hygrométrie et influence du temps :	Site Météo-France
Abandon et obstruction :	Recherche archivistique

#### REMEDES - MESURES PASSIVES/PREVENTIVES GESTION DES ESPACES EN SURFACE ET EN SOUTERRAIN

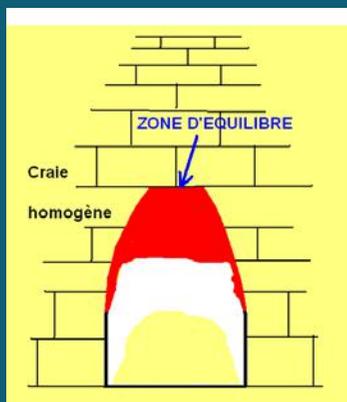
Couvert végétal, voirie, réseaux hydrauliques :	Etat à déterminer en permanence
Bâtiments, renforcement des structures et modifications :	Dans tous les cas
Traitement des parois des caves et entretien courant :	Impossible
Consolidation des ouvrages de soutien existants :	Impossible
Inspections régulières et surveillance des réseaux :	Régulièrement
Ventilation, aération, gaz toxiques :	Impossible
Hygrométrie :	Impossible
Ouvertures et accès :	A contrôler

#### REMEDES - MESURES ACTIVES/PREVENTIVES - CONFORTATIONS, SOUTIENS ET REPRISES D'OUVRAGE

Consolidation par pilier de soutien en maçonnerie :	Impossible
Consolidation par chevillage en arc :	Impossible
Consolidation et reprise de voûtes :	Impossible
Consolidation par cadre en maçonnerie :	Impossible
Consolidation par boulonnage :	Impossible
Consolidation par béton projeté :	Impossible
Consolidation par coulis injecté :	Consolidation des remblais par coulis injectés sous pression (jet grouting)
Remblaiement et remplissage :	Seule solution
Gestion des eaux souterraines :	Impossible



ÉTAT 1  
Terrains sus-jacent faibles



ÉTAT 2  
Terrains sus-jacents cohérents



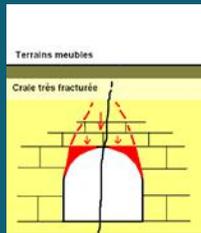
### FICHE 7.1.5

## Rôle des discontinuités horizontales et influence des terrains sus-jacents pour une cave voûtée en plein cintre taillée dans la craie

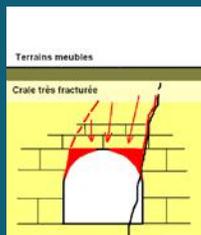
MESURES DE PROTECTION DES PERSONNES ET DES BIENS					
Périmètres de sécurité Sécurisation liée aux chutes de blocs Sécurisation liée aux chutes de personnes	Inspection immédiate des ouvrages périphériques en phase 3 à 5	Localisation des réseaux systématique	Circulation des personnes interdite en phase 2	Etais provisoires à prévoir	Surveillance régulière en phases 2
METHODE D'EXAMEN - PARAMETRES A RELEVÉ					
Relevé in-situ le plus rapide possible	Recherche de cavités périphériques	Sondages destructifs	Affaissements périphériques	Hauteur et nature des terrains sus-jacents	
DEFAUTS ASSOCIES A RECHERCHER - FACTEURS AGGRAVANTS - CAUSALITE					
Mise en charge hydraulique et variations de l'aquifère :	Sites BRGM				
Propriétés géomécaniques des roches et fracturations :	Ouvrages techniques				
Taux d'exploitation ou de creusement, géométrie des cavités :	Nature des cavités et type d'exploitation				
Facteurs anthropiques dus au milieu urbain :	Réseaux, fuites				
Hygrométrie et influence du temps :	Site Météo-France				
Abandon et obstruction :	Recherche archivistique				
REMEDES - MESURES PASSIVES/PREVENTIVES GESTION DES ESPACES EN SURFACE ET EN SOUTERRAIN					
Couvert végétal, voirie, réseaux hydrauliques :	Etat à déterminer en permanence				
Bâtiments, renforcement des structures et modifications :	Uniquement en phases 1 et 2				
Traitement des parois des caves et entretien courant :	Uniquement en phases 1 et 2				
Consolidation des ouvrages de soutien existants :	Uniquement en phases 1 et 2				
Inspections régulières et surveillance des réseaux :	Régulièrement				
Ventilation, aération, gaz toxiques :	Régulièrement				
Hygrométrie :	Maintenir les valeurs en phase 2				
Ouvertures et accès :	A contrôler				
REMEDES - MESURES ACTIVES/PREVENTIVES - CONFORTATIONS, SOUTIENS ET REPRIS D'OUVRAGE					
Consolidation par pilier de soutien en maçonnerie :	Uniquement en phases 1 à 2				
Consolidation par chevillage en arc :	Uniquement en phases 1 à 2				
Consolidation et reprise de voûtes :	Uniquement en phases 1 à 3				
Consolidation par cadre en maçonnerie :	Uniquement en phases 1 à 3				
Consolidation par boulonnage :	Uniquement en phases 1 à 2				
Consolidation par béton projeté :	Déconseillée				
Consolidation par coulis injecté :	En périphérie				
Remblaiement et remplissage :	Cas de force majeure				
Gestion des eaux souterraines :	Canalisations des eaux souterraines quelles que soient les interventions				

## FICHE 7.1.6

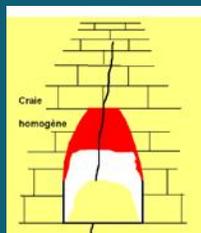
# Influence du positionnement et des terrains sus-jacents pour une cave voûtée en plein cintre taillée dans la craie



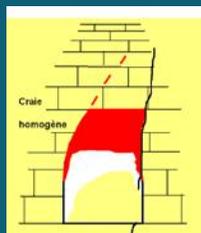
**ÉTAT 1**  
Risque élevé de fontis



**ÉTAT 2**  
Risque élevé de fontis



**ÉTAT 3**  
Risque maîtrisable



**ÉTAT 3**  
Risque maîtrisable

Les états 3 et 4 génèrent un risque de chute de blocs ou dièdres en débit selon la fracturation

### MESURES DE PROTECTION DES PERSONNES ET DES BIENS

Périmètres de sécurité Sécurisation liée aux chutes de blocs Sécurisation liée aux chutes de personnes	Inspection immédiate des ouvrages périphériques en phase 3 à 5	Localisation des réseaux systématique	Circulation des personnes interdite en phases 3 à 4	Etaiements provisoires recommandés pour éviter la chute de dièdres	Surveillance régulière en phases A et B et permanente en phases 3 et 4
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------	---------------------------------------	-----------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------

### METHODE D'EXAMEN - PARAMETRES A RELEVÉ

Relevé in situ le plus rapide possible	Recherche de cavités périphériques	Sondages destructifs	Affaissements périphériques	Hauteur et nature des terrains sus-jacents	
----------------------------------------	------------------------------------	----------------------	-----------------------------	--------------------------------------------	--

### DEFAUTS ASSOCIES A RECHERCHER - FACTEURS AGGRAVANTS - CAUSALITE

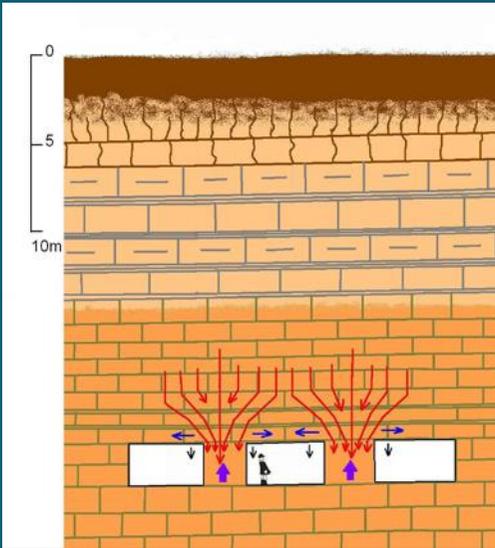
Mise en charge hydraulique et variations de l'aquifère :	Sites BRGM
Propriétés géomécaniques des roches et fracturations :	Ouvrages techniques
Taux d'exploitation ou de creusement, géométrie des cavités :	Nature des cavités et type d'exploitation
Facteurs anthropiques dus au milieu urbain :	Réseaux, fuites
Hygrométrie et influence du temps :	Site Météo-France
Abandon et obstruction :	Recherche archivistique

### REMEDES - MESURES PASSIVES/PREVENTIVES GESTION DES ESPACES EN SURFACE ET EN SOUTERRAIN

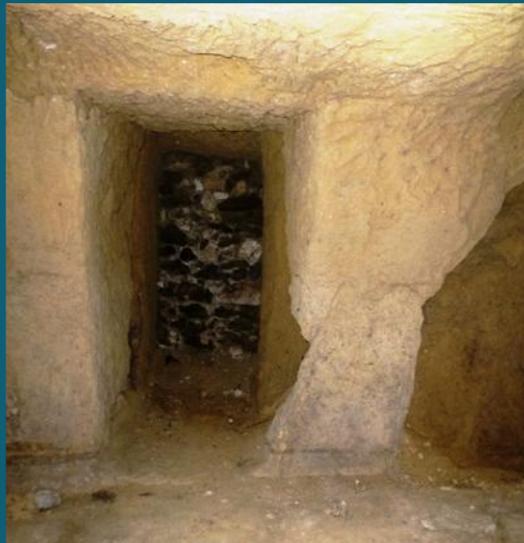
Couvert végétal, voirie, réseaux hydrauliques :	Etat à déterminer en permanence
Bâtiments, renforcement des structures et modifications :	Dans tous les cas
Traitement des parois des caves et entretien courant :	Dans tous les cas
Consolidation des ouvrages de soutien existants :	Dans tous les cas
Inspections régulières et surveillance des réseaux :	Régulièrement
Ventilation, aération, gaz toxiques :	Régulièrement
Hygrométrie :	Maintenir les valeurs
Ouvertures et accès :	A contrôler

### REMEDES - MESURES ACTIVES/PREVENTIVES - CONFORTATIONS, SOUTIENS ET REPRISES D'OUVRAGE

Consolidation par pilier de soutien en maçonnerie :	Dans tous les cas
Consolidation par chevillage en arc :	Dans tous les cas
Consolidation et reprise de voûtes :	Dans tous les cas
Consolidation par cadre en maçonnerie :	Dans tous les cas
Consolidation par boulonnage :	Uniquement en fonction de la tenue des horizons supérieurs
Consolidation par béton projeté :	Déconseillée
Consolidation par coulis injecté :	En cas de risque d'effondrement
Remblaiement et remplissage :	En cas de risque d'effondrement
Gestion des eaux souterraines :	Canalisation des eaux souterraines quelles que soient les interventions



C191 Répartition des contraintes sur les piliers tournés - PHT  
Fracturation d'un pilier - PHT



C192 Fracturation d'un pilier - PHT

### 7.1.7 Les effondrements généralisés

Ils sont rares mais ceux de Reims et d'Épernay ont marqué la mémoire humaine.

### 7.1.8 L'éroulement des falaises

L'éroulement des falaises concerne seulement les caves qui sont situées en bordure de coteaux - celles-ci sont rares et souvent abandonnées -, ou se trouvent dans les villages installés en haut de coteaux.

### 7.1.9 Phénomènes spécifiques et conséquences: les effets de la nature des terrains de recouvrement

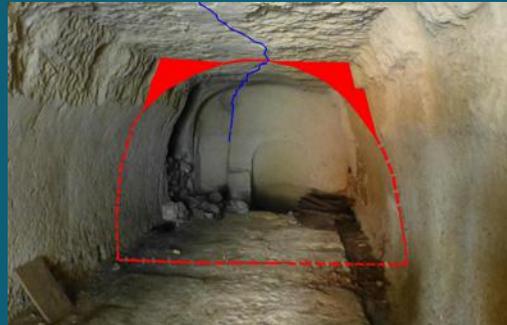
La connaissance de la nature exacte des terrains qui se trouvent au-dessus des caves est indispensable pour déterminer les risques d'affaissements ou d'effondrements. Cette connaissance doit être indiquée sur une coupe de la cave cotée avec les terrains qui la superposent.

## 7.2 CAVES DANS LES CALCAIRES STRATIFIÉS DU LUTETIEN

### 7.2.1 Principaux mécanismes des risques pour les caves dans les carrières



C192Bis Alternance de bancs durs et de bancs mous - Fleury - la-Rivière - PHT



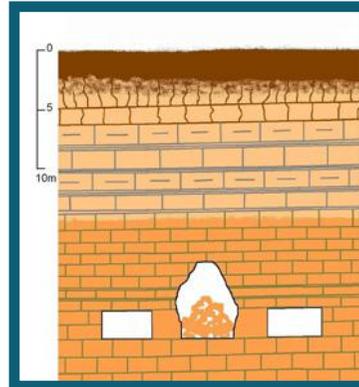
C193 Altération du toit ou ciel du profil initial d'une cave creusée dans un calcaire stratifié - PHT



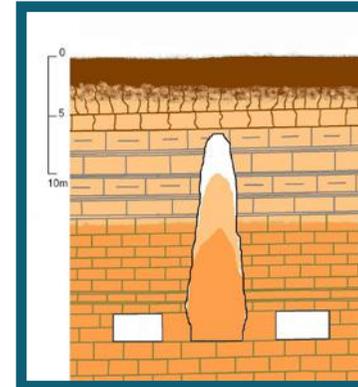
C197 C198 Venue à jour d'un fontis vue du dessus et du dessous - PHT

## 7.2.2 Les ruptures locales des toits et ciels

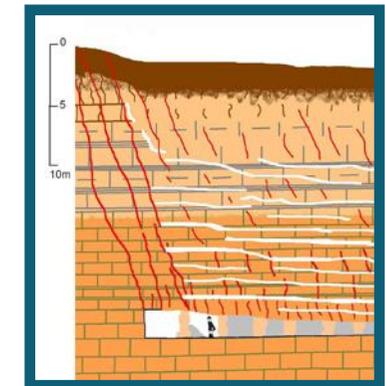
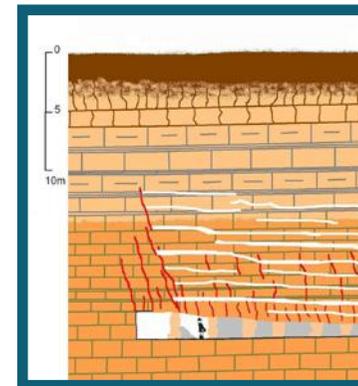
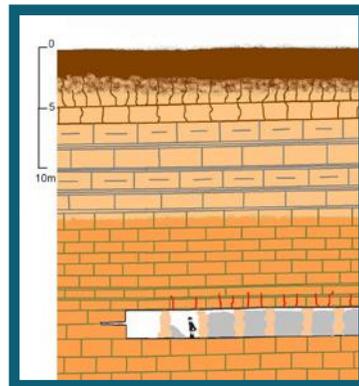
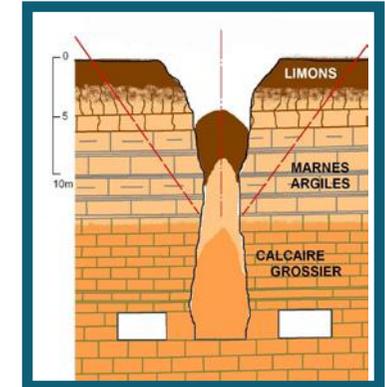
La chute du ciel aboutit à la formation d'une cloche de fontis qui va remonter vers la surface pour atteindre celle-ci. Il y a alors ce que l'on appelle « la venue à jour du fontis ». La forme de la venue à jour de cet effondrement est souvent circulaire ou elliptique et son diamètre dépend de la nature des terrains traversés.



C194 Cloche de fontis - PHT



C195 C196 Processus de venue à jour du fontis - PHT



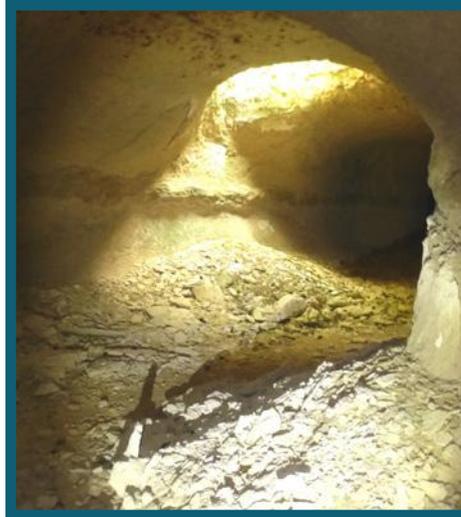
C199 Affaissements des exploitations par hagues et bourrages - PHT

### 7.2.3 Les ruptures locales des piliers

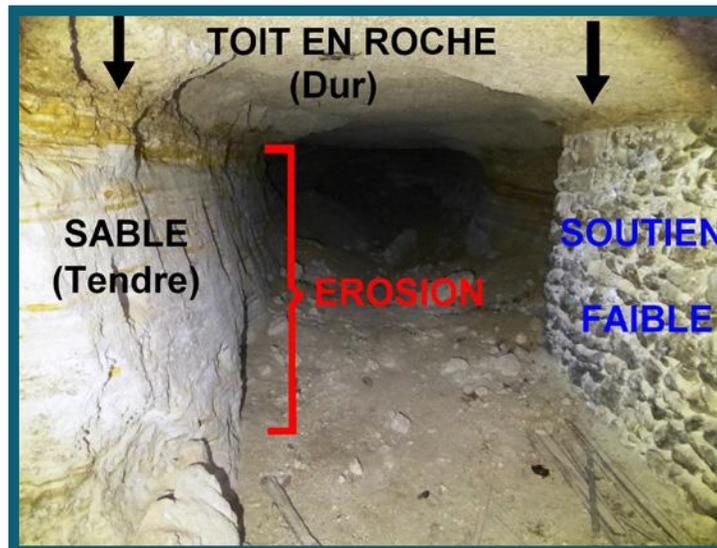
Les piliers des anciennes carrières sont composés avec des bancs tendres et des bancs durs. Le banc tendre s'abîme beaucoup plus rapidement lorsqu'il est situé à la base du pilier. Cette érosion affaiblit le pilier qui s'écrase ensuite sous la pression et les contraintes du toit de la carrière.



C2002 Ruptures des bases de piliers : effondrement garanti - PHT



C200 C200bis Erosion de la base des piliers d'une carrière de calcaire tendre - PHT



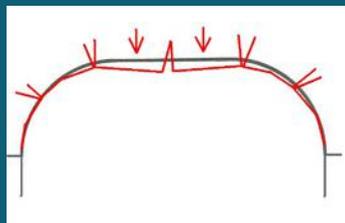
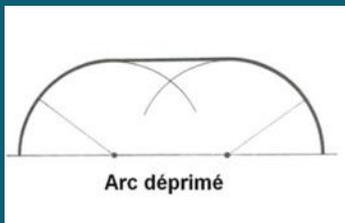
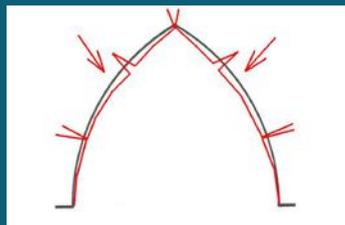
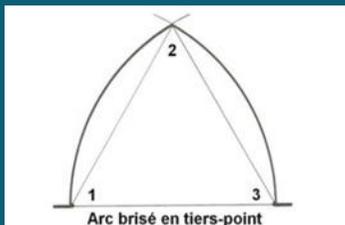
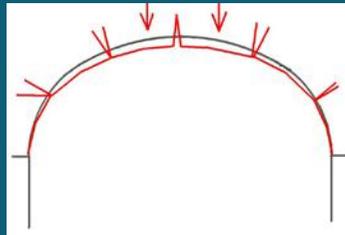
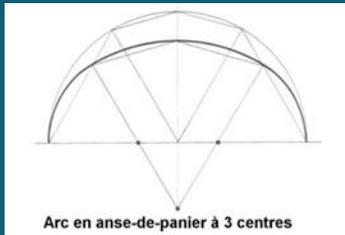
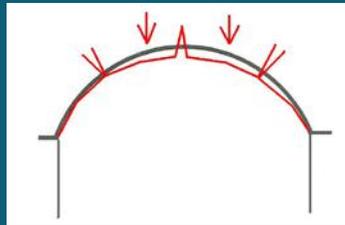
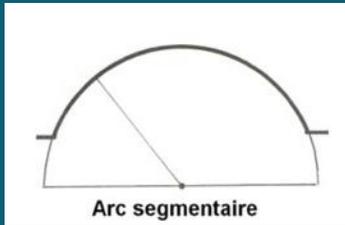
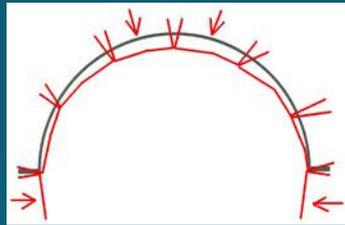
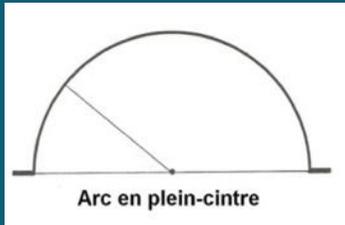
## 7.3 CAVES CONSTRUITES EN MACONNERIE EN MILIEU RURAL ET URBAIN

### Mécanismes des risques pour les caves maçonnées

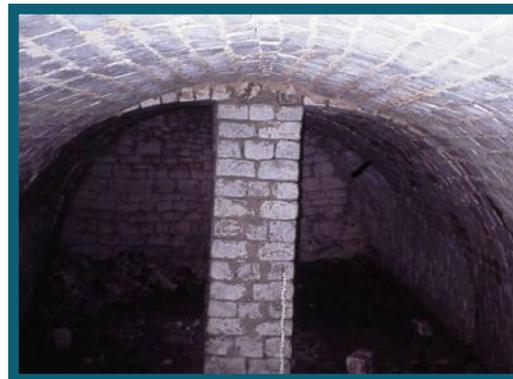
#### 7.3.1 Les ruptures locales des voûtes et organes porteurs horizontaux

Avant d'intervenir sur la consolidation des voûtes, il faut bien comprendre l'origine des désordres. Ensuite on peut envisager des techniques de confortation.

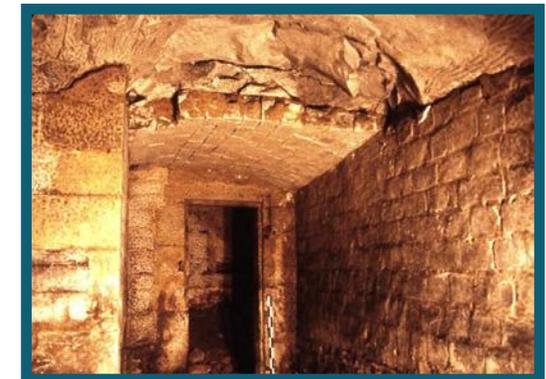
La plupart du temps, les voûtes des caves anciennes sont maçonnées avec des mortiers peu résistants. Il s'en suit un tassement des arcs au cours du temps. Attention à bien vérifier si l'origine des désordres n'est pas due à une surcharge des terrains supérieurs. La ruine est souvent précédée par l'apparition d'un bombement, avec fissures qui s'intensifient au cours du temps. La maçonnerie s'effondre sous son propre poids (en piédroits) ou sous le poids du blocage (voûte), en dehors de toute action du terrain. L'origine d'un tel accident réside le plus souvent dans une altération complète des mortiers, non détectée à cause d'un manque de surveillance et d'entretien. Quand l'écaillage est associé aux bombements (ou méplats, ou aplatissements), alors que les mortiers sont encore solides, le problème est plus grave car le terrain est en cause. Les zones de maçonnerie écaillées par la déformation prennent un aspect broyé très fissuré avant la ruine.



C201 - PHT - Contraintes sur les voûtes maçonnées et principales pathologies (indiquées en rouge).



Arc plein-cintre



Arc segmentaire

### 7.3.2 Les ruptures locales des organes porteurs verticaux

Le premier désordre induit pour les structures est le déjointoiement, précurseur de ruine s'il n'est pas traité à temps. Les mortiers les plus anciens encore visibles sont généralement de couleur claire jaunâtre (sables) ou brunâtre (argiles), signe qu'ils ont été confectionnés avec une chaux hydraulique.

Celle-ci a été utilisée à peu près exclusivement dans la construction des caves de tunnel durant le XIX<sup>e</sup> siècle et avant. Des mortiers dits « bâtards » ont pu être utilisés aussi (1/2 de ciment Portland et 1/2 de chaux aérienne pour le liant). Les mortiers à base de ciment, plus tardifs, sont généralement plus sombres et de couleur grisâtre.

La proportion de mortier dans un volume de maçonnerie varie de 8 à 30 % selon la qualité de l'appareillage des pierres ; elle est sensiblement égale à 30 % avec des briques.

Les mortiers anciens sont très sensibles aux agressions chimiques et sont le point faible d'une maçonnerie. Ils possèdent une porosité importante mais très fine, introduisant une succion capillaire forte par rapport à celle des moellons adjacents qui ont des pores plus importants ; ils jouent un rôle « d'éponge » protecteur des pierres.

Mais comme leur carbonatation est ancienne et profonde, ils sont très sensibles à toute attaque acide. Contrairement aux bétons, ils n'ont plus de réserve alcaline susceptible de les protéger, ce qui explique leur désagrégation parfois complète, qui est parfois attestée par les nombreux rejointoiements successifs visibles dans certains ouvrages.

Cette désagrégation est fatale pour les organes verticaux qui reçoivent un maximum de contraintes.



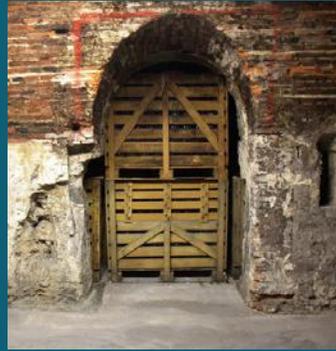
C202 « Flambage » d'un poteau sous dimensionné – PHT



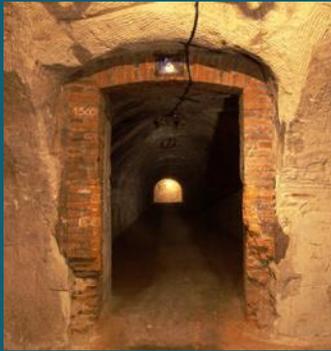
C202Bis Attention aux contraintes latérales non prévues – PHT



C220Ter Attention aux bases de poteau et aux contraintes plus élevées en zone humide - PHT



C203 C204 C205 Cas extrêmes : rognage des piédroits et détérioration des appuis en brique - PHT



C206 C207 C208 Usure des parois par le passage des palettes - PHT



### 7.3.3 L'érosion mécanique des piliers et piédroits due au passage des chargeurs : une problématique récurrente

Le passage des chargeurs de palettes trop près des piliers crée des épaufrures qui finiront par affaiblir inévitablement les organes porteurs verticaux soumis à des contraintes élevées.

On distingue deux types d'altérations : celles volontaires, qui consistent à diminuer la section des piliers pour augmenter la largeur de passage, et celles plus ou moins accidentelles qui se produisent au moment du passage des chargeurs en abîmant les parois basses et hautes des piliers



C209 C210 Cas préoccupants : chutes de blocs suite à l'usure mécanique du passage des palettes - PHT



C210 Bis Une érosion d'usage qu'il est important de modifier - PHT

## 7.4. LES CAVES CONSTRUITES EN BÉTON ARMÉ

### Une faiblesse majeure des bétons armés du XX<sup>e</sup> siècle : la carbonatation

Le béton armé est une invention récente dans l'histoire des matériaux de construction ou la terre, la pierre, les chaux et la brique sont utilisées depuis plusieurs millénaires. Il est donc logique que certaines pathologies apparaissent dans les nouveaux matériaux pour lesquels on manque de recul.

Le béton armé est l'intime assemblage de barres d'acier et de béton afin de compenser la mauvaise tenue de ce dernier à la traction. Cet assemblage est rendu possible grâce à la dilatation comparable des deux matériaux.

La carbonatation résulte de la combinaison de l'hydrate de chaux (contenu dans le ciment) et de l'acide carbonique de l'air qui forme du calcaire en libérant de l'eau. Le pH du béton baisse à une valeur de 9 et la corrosion des aciers commence. Au-delà d'une distance d'environ 30 mm à l'intérieur du béton, il n'y a plus d'échange gazeux grâce aux dépôts de calcaire de la pâte du ciment, le pH reste stable à une valeur de 11. La corrosion ne se manifeste pas.

Compte tenu de l'absence d'échanges gazeux, les bétons immergés ne carbonatent pas.

La carbonatation peut survenir lors de la climatisation et d'une sur-humidification de l'air ambiant dans les caves.

Les armatures métalliques incorporées au béton à une distance inférieure à 25 mm de la surface se trouvent donc soumises à la corrosion.

La rouille foisonne et fait éclater la surface (épiderme) du béton, déplaçant du même coup le front de carbonatation

**La majorité des bétons mis en œuvre dans la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle sera concernée par ce phénomène qui affaiblit les structures. Actuellement, les normes qui régissent les études d'ouvrages en béton armé ont été modifiées afin de pallier cet inconvénient.**

Les phénomènes mécaniques s'associent souvent à la carbonatation du béton pour déstabiliser les ouvrages : surcharges, chocs, manque d'entretien, etc.



C211 C212 Exemples d'altérations dues à la carbonatation - PHT MG



C213 Le sous-dimensionnement des ouvrages - PHT



C214 L'humidité à la base - PHT



C215 Surcharges et ruptures - PHT

## POUR EN SAVOIR PLUS

CIMbéton est un centre d'information sur le ciment et ses applications béton.

Il a pour mission de faire connaître les progrès techniques des ciments et des bétons dans tous les secteurs de la construction, bâtiment, travaux publics, génie civil.

<https://www.nfociment.fr/cim beton>

### 7.4.1 Les moyens de traitement

La première phase d'intervention consiste à faire un diagnostic précis de l'état des ouvrages en utilisant les différentes techniques d'investigation de base qui sont :

- l'observation visuelle directe ;
- le prélèvement d'échantillons (carottes ou éclats) ;
- la détermination de l'âge du béton ;
- la mesure du pH par contact avec des réactifs ;
- la mesure électrique afin de localiser les armatures et d'en déterminer leur diamètre et la distance du front de carbonatation, mesures électromagnétiques, mesures du potentiel de corrosion, etc.

Les méthodes de restauration dépendent évidemment du résultat du diagnostic.

### 7.4.2 Exemple de méthode passive

Si on observe peu de dégâts, il est possible de réalcaliniser le béton et donc de recréer un environnement fortement basique autour des armatures, par infiltration de substances alcalines. Cette solution respecte les caractéristiques esthétiques et géométriques initiales de l'ouvrage. Cette technique consiste en l'application contre la surface à traiter d'un « manteau », composé d'une pâte cellulosique imbibée d'une solution alcaline.

Une circulation électrique est mise en place entre l'armature du béton et le « manteau ». En deux à trois semaines, la solution alcaline est passée dans le béton. Le milieu est à nouveau non corrosif. Il convient ensuite de nettoyer la surface et d'y appliquer une peinture microporeuse.

Cette méthode n'est toutefois utilisée que lorsque les effets de la carbonatation sont minimes.

Une autre solution préventive et peu onéreuse consiste à appliquer un badigeon de chaux aérienne pure (CL90) sur l'ensemble des ouvrages, après une légère humidification. Le badigeon ayant un fort pH basique (14), il limitera la carbonatation.



C216 C217  
C218 C219  
Celliers et  
cuveries  
restaurés en  
béton armé,  
construits en  
1929 - PHT

### 7.4.3 Exemple de méthode active

Si on observe des éclats et des armatures apparentes, les étapes de restauration suivantes s'imposent :

- mise en sécurité des ouvrages et mise hors d'eau ;
- lavage, bouchardage, purge du béton altéré afin de détacher toutes les parties non solidaires de l'ensemble ;
- décapage par sablage des armatures (couper celles très corrodées) ;
- restitution des fers manquants ;
- protection des fers par un revêtement alcalin ;
- réalisation de l'adhérence à la structure par l'emploi de mortiers de résines ;
- application d'un enduit de finition micro-perméable, et éventuellement d'une peinture microporeuse.



C2192 Défaut  
d'entretien... - PHT

## 7.5. ALTÉRATIONS BIOLOGIQUES DANS LES CAVES

### 7.5.1 Les champignons lignivores : la mэрule, le conioflore

Les champignons, dont font partie les moisissures, sont des organismes eucaryotes aэrobies. Ni plantes ni animaux, ils constituent un rэgne а part (eumycota) dans le monde vivant. Dэpourvus de chlorophylle, ils ne peuvent pas, comme les plantes, synthэtiser leur matiэre organique а partir du CO<sub>2</sub> atmosphэrique.

Ils doivent donc puiser dans le milieu ambiant l'eau et les substances organiques et minэrales nэcessaires а leur propre synthэse.

Pour cela, ils dэgradent la matiэre organique complexe grâce а l'excrэtion d'enzymes et d'acides, puis ils en absorbent les composants digérés.

Ils peuvent ętre saprophytes s'ils se dэveloppent sur de la matiэre organique inerte (c'est le cas des moisissures), ou parasites s'ils se dэveloppent sur du vivant.

L'appareil vэgэtatif est constituэ de filaments, ou hyphes, qui s'accroissent par leur sommet et dont l'ensemble constitue un rэseau appelэ mycэlium. Les taches ou colonies que l'on voit а la surface des matэriaux moisis sont essentiellement constituэes de mycэlium. Les champignons se multiplient par des spores formэes а partir du mycэlium et qui sont des organes de rэsistance, sortes de graines microscopiques, servant а la propagation lorsqu'elles se dэtachent. Elles sont ensuite dispersэes par les courants d'air, par l'eau de ruissellement ou en se collant sur des vecteurs : objets, plantes, insectes, acariens ou hommes.

En condition favorable d'humiditэ, les spores peuvent germer et redonner du mycэlium qui pourra а son tour sporuler et recontaminer.



C219 Sources de contamination ... - PHT



C220 C221 Ci-dessus : contamination par la mэрule, phase de fructification. (Présence à droite d'un tonneau d'eau.) - PHT

## 7.5.2 Le champignon mэрule

Ce terme regroupe plusieurs espèces de champignons du groupe basidiomycota, responsables d'importantes dégradations dans les bâtiments, qui aboutissent à une pourriture cubique en détruisant totalement les bois, qu'ils soient résineux ou feuillus.

On peut nommer le champignon au masculin (le mэрule), mais l'usage en mycologie le nomme au féminin (la mэрule).

Capable d'incruster les maçonneries dégradées en profondeur, la présence de ces champignons requiert toujours l'application d'un traitement spécifique qui demande une attention particulière sur la ventilation des locaux affectés.

Les mэрules appartiennent à l'ordre des Basidiomycètes ; il s'agit de champignons lignivores à fructifications étalées, charnues, gélatineuses ou membraneuses.

**La mэрule pleureuse, du genre *Serpula lacrymans*, se caractérise par les éléments et les phases de développement suivants :**

### Formation végétative, les filaments ou hyphes

La germination des spores produit une masse ouateuse de couleur blanchâtre qui forme un mycélium. C'est dans ce mycélium que se forment des cordons mycéliens appelés filaments, hyphes, ou rizomorphes. Ces filaments ou hyphes constituent la structure végétative du champignon. Ils permettent à celui-ci de repartir après une période de sécheresse. Ils produisent une enzyme qui hydrolyse la cellulose.

Ces filaments sont souvent identiques à ceux du coniophore des caves, mais souvent plus minces. Ils se comportent comme de véritables formations vasculaires qui assurent le transport en eau et celui des substances nutritives, permettant au champignon de s'installer à plusieurs mètres de son point initial.

### Fructifications

De sa reproduction interne, la mэрule génère un nouveau mycélium qui donne des fructifications, ou carpophores, en produisant des basidiospores en nombre considérable. Une fructification de 1 mètre de diamètre peut libérer plusieurs millions de spores pendant une longue période.



C222 contamination par la mérule - PHT



C223 contamination par le coniochore des caves : filaments - PHT

Ces spores sont colorées et ne tardent pas à recouvrir les surfaces d'une poussière ouateuse brune avec des bordures blanches, très caractéristique de la mérule, qui s'étend ou « pleure » sur les surfaces contaminées.

Ces spores seront ensuite disséminées par les courants d'air, les hommes, les insectes, les objets pollués pour permettre de perpétuer l'espèce.

Sous son action, le bois bruni avec de nombreuses auréoles dues au développement concentrique du champignon et devient cassant. Il se clive selon des plans perpendiculaires pour donner une pourriture que l'on nomme couramment pourriture cubique. Le bois perd ainsi toute résistance mécanique.

Une attention particulière est à porter aux celliers ou aux caves en premier niveau avec des planchers en bois.

### 7.5.3 Facteurs de développement de la mérule

#### L'humidité

La croissance optimale de la mérule se fait dans une humidité qui se situe de 35 % à 80 % et au minimum de 22 %. Si l'humidité du bois est inférieure à 20 % la croissance ne se déclenche pas.

#### La nourriture

La mérule a besoin pour se développer de cellulose et de lignine, présents en suffisance dans les bois. Certaines mérules sont capables de solubiliser le sulfate de calcium (ou gypse) contenu dans les plâtres et ainsi de dégrader les murs.

La mérule a aussi besoin d'une certaine quantité d'oxygène. Elle est également favorisée par les émanations ammoniacales présentes dans certains sous-sols (égouts, étables, etc.).

#### Le confinement

Le développement passe souvent inaperçu, l'organisme fuit la lumière et affectionne les ambiances confinées insuffisamment aérées.

En revanche, un minimum de luminosité est nécessaire pour l'apparition des fructifications. Une atmosphère peu ventilée est très favorable à la mérule et au coniochore des caves.

#### La température

La mérule commence à se développer vers 3 à 5 °C, son optimum de croissance se situe entre 12 et 24 °C, de préférence dans un lieu confiné.

## QUE FAIRE ?

- Assurer d'une bonne aération et ventilation des caves par la mise en œuvre de systèmes à volets au niveau des têtes d'essors avec des ouvertures contrôlables en hiver et en nuit d'été. Il s'agit d'un des meilleurs moyens d'éviter la phase végétative et de fructification des champignons lignivores.
- Attention, il ne faut pas assécher les caves car la craie risque de se rétracter avec tous les risques qui en découlent... Une humidité relative (HR) d'environ 86 % doit être constante dans le matériau craie (Mesure ponctuelle à l'humidimètre – Humidité relative).
- Enlever tous les matériaux contaminant à base de bois non prévus pour être en caves (outils, mobilier, tonneaux vides, paniers en osiers, supports divers, etc.).
- Détruire par incinération tous les matériaux contaminés.
- Rechercher et supprimer les causes directes et indirectes d'humidité avec purge si possible des enduits cimentés qui favorisent la saturation interne en eau des parois.
- Cas particulier des pupitres : les pupitres ont été spécialement traités par immersion contre les attaques fongiques et disposent de talons métalliques insensibles aux champignons à leurs bases. Cependant ils doivent être disposés au moins à 10 cm des parois des caves afin d'éviter une contamination par contact direct à l'humidité des murs.
- Etablir un système d'éclairage qui dégage le moins de chaleur possible.

## FICHE 7.5.4

### Compréhension des causes majeures et méthodologie de résorption

Quatre causes majeures de développement de la mûre sont facilement identifiables dans les caves :

1. apport d'eau suite à la défektivité de réseaux ou de périodes à forte pluviométrie,
2. caves non aérées, non ventilées (aération = renouvellement d'air - ventilation = brassage d'air),
3. présence de bois et de matériaux végétaux en décomposition,
4. éclairages calorifiques des caves.

#### Toxicité

La présence de moisissures en très faible quantité, n'est pas systématiquement dangereuse, cependant, parmi les risques qu'elles peuvent présenter pour la santé de l'homme, on peut citer :

- l'allergie chez les individus sensibles ;
- la toxicité par la production de toxines ou de métabolites secondaires tels que les mycotoxines, de composés organiques volatils libérés dans l'air et de  $\beta$ 1-3 glucanes composants de la paroi des moisissures, qui sont autant de facteurs d'activation voire d'aggravation de la réaction allergique ;
- les infections cutanées superficielles, induisant une réaction allergique ou inflammatoire, subcutanées où le champignon est introduit dans les tissus suite à une blessure ;
- les mycoses invasives liées soit à des champignons pathogènes, soit à des saprophytes banals qui contaminent les individus dont l'immunité est amoindrie.



C225 Algues vertes pulvérulentes - PHT



C226 Mousses et fougères générées par la lumière du projecteur



C227 algues vertes en « quadrillage ». Les algues se fixent sur les parties les moins basiques en craie, comme les joints - PHT

### 7.5.5 Les algues, mousses et fougères

Les algues sont définies comme des organismes eucaryotes, dépourvus de racine, de tige et de feuille mais possédant de la chlorophylle ainsi que d'autres pigments (algues brunes), pour réaliser la photosynthèse productrice d'oxygène.

La plupart des algues se forment en milieu aquatique mais certaines sont capables de proliférer en milieu terrestre dans des zones humides confinées et en pénombre telles que les caves.

Les algues terrestres cohabitent avec les champignons.

### 7.5.6 Facteurs de développement

- la présence importante d'humidité est un facteur prépondérant du développement des algues,
- un éclairage ponctuel, artificiel ou naturel (quelques heures par jour), est également un facteur prépondérant du développement des algues (photosynthèse),
- les algues vertes se développent à une température positive,
- les algues mortes forment un substrat propice au développement d'autres espèces. (Il en va de même pour les mousses et fougères).

### Toxicité

L'ingestion de certaines espèces issues du milieu marin peut provoquer une grave intoxication. Les spécialistes sont unanimes pour dire que ces micro-organismes représentent une des menaces principales du prochain millénaire pour l'équilibre océanique (pollution).

## QUE FAIRE ?

- Assurer d'une bonne aération et ventilation des caves par la mise en œuvre de systèmes à volets au niveau des têtes d'essors avec des ouvertures contrôlables en hiver et en nuit d'été.
- Établir un système d'éclairage indirect des zones humides (parois des caves) et ponctuel. Le système d'éclairage doit être conçu de façon à fonctionner le moins longtemps possible. Pour les zones de visite on réalise donc un réseau soit télécommandé par le guide, soit par des détecteurs de présence qui éteignent l'éclairage après le passage des visiteurs.
- Il faut choisir un système d'éclairage peu calorifique avec des lampes à diodes électro luminescentes (LED), l'investissement initial est plus élevé qu'un système classique. Par contre celui-ci est vite amorti par l'économie de la consommation électrique qui est divisée au minimum par deux, et la durée de vies des lampes proche des 50 000 heures. Le large choix des couleurs disponibles permet la création d'ambiances spécifiques (Fabricant NEOLUX).
- Une autre solution consiste à réintroduire un éclairage à basse tension par trolley comme celui que les cavistes avaient conçus à l'origine de l'électrification des caves. Les postes d'éclairages mobiles perturbaient les microorganismes qui recherchent des zones éclairées en permanence même de façon ponctuelle. Ce système avait également l'avantage de ne pas être fixé sur les parois humides des caves. A cet effet certains fabricants proposent des lampes LED spécialement conçues.
- Un éclairage vers le sol des zones de passage (en douche) sera préférable à un éclairage direct des parois. Pour les rampes d'escalier il existe des éclairages intégrés dans la rampe.

## FICHE 7.5.7

### Nettoyage et traitement des altérations biologiques dues aux algues

Les opérations de nettoyage et d'éventuels traitements ne doivent être réalisés qu'après une complète compréhension et résorption des causes des altérations.

Dans le cas contraire, tout nettoyage est illusoire...

#### Méthodologie de nettoyage

1. Disposition d'un film polyane au sol avant toute opération de nettoyage en établissant des phases de travaux.
2. Brossage à la brosse nylon après léger raclage si besoin des parois : attention aux graffitis !
3. Dépoussiérage au balai.
4. Purge des produits de nettoyage et du film de protection.
5. Renouvellement d'air et ventilation.
6. Application d'un badigeon de chaux de type CL 90 S en une couche ; on peut appliquer une seconde couche quelques jours après carbonatation de la première (voir détail ci-après).

Note : isolation des zones nettoyées par cloisonnages provisoires en film plastique des autres zones contaminées.

#### A PROSCRIRE :

L'usage d'eau sous pression, l'usage de brosses métalliques, l'usage d'eau de javel.

Le nettoyage des parois d'une cave doit être une action légère et mesurée afin de sauvegarder dans la mesure du possible les graffiti qui existent et l'épiderme des parois. Le nettoyage a pour but de préserver les parements et non pas de les rendre visuellement propres.

### Produits nécessaires

Chaux calcique, chaux aérienne éteinte pour le bâtiment de type CL 90-S en poudre ; eau pure et propre ; sel d'alun ou alun de potasse (facultatif pour le chaulage en cave).

On utilise exclusivement de la chaux aérienne éteinte pure sans ajouts de type CL 90 S - Conforme à la Norme EN 459-1-2-3. Sur la craie, tout autre produit doit être proscrit. Le sac de chaux doit porter la mention suivante : CL 90 S - EN 459-1 ou EN 459-1-2-3.

### Equipement nécessaire

On utilisera une brosse à badigeon en soie naturelle ronde ou rectangulaire en fonction des finitions choisies et adaptée à la rugosité du support. Des récipients en plastique avec repères de dosage (la chaux est très corrosive) au volume adapté.

Se munir de l'équipement de protection individuel de sécurité requis (gants, lunettes).

Volume de chaux en poudre : 1	CHAULAGE	BADIGEON	BADIGEON OU EAU FORTE	PATINE OU EAU FORTE
Volume d'eau	1 à 2	2 à 3	3 à 6	6 à 20 ou +
Fonction	Assainir Eclaircir Entretien	Finition d'une façade, décors, protection	Finition d'une façade, décors, protection	Uniformisation d'un parement en pierre de taille, protection
Effets Finitions	Mélange plus ou moins empâté	Opaque Effet de fil apporté par la brosse en fonction du choix	Semi opaque Légère transparence	Voile qui ne cache pas le grain du support

### FICHE 7.5.8

## Traitement avec un badigeon de chaux aérienne

Simple et économique, le badigeon à la chaux aérienne existe depuis l'antiquité, et a l'avantage d'être bactéricide. Il s'agit globalement d'un mélange de chaux aérienne et d'eau qui est appliqué à la brosse et s'apparente parfois au chaulage ou à la réalisation d'une eau forte ou d'une patine.

Le chaulage des caves est une pratique ancestrale d'assainissement car la chaux possède un pH basique minimal de 12 à 14 qui détruit pratiquement tous les micro-organismes. La chaux aérienne ne produit aucun rejet nocif au travail des vins, et a l'avantage de faire sa prise en présence de gaz carbonique. Le terme badigeon a pris à notre époque une signification beaucoup plus large en se confondant avec celui de peinture à la chaux.

### Supports compatibles

Ce badigeon s'applique à l'intérieur comme à l'extérieur sur un support poreux non hydrofugé en élévation ou en plafond.

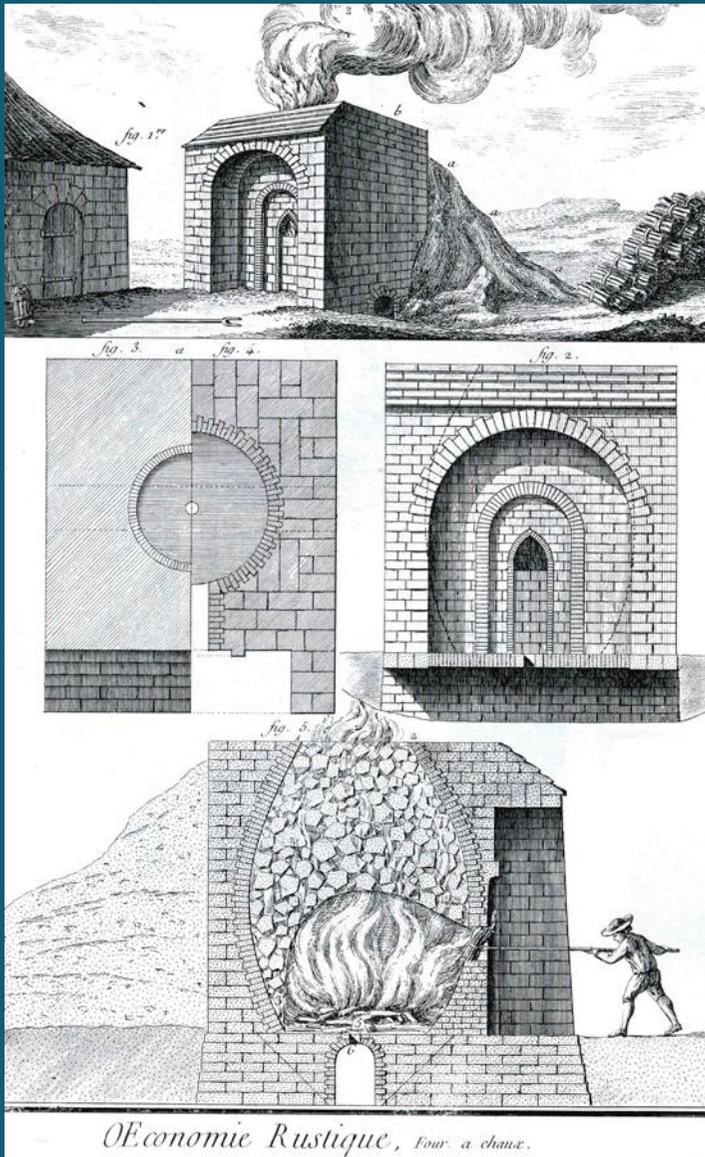
Exemples de supports : enduits anciens à la chaux, propres sans peintures filmogènes ; parements de craie et roches calcaires tendres à très tendres sans revêtement filmogène ou hydrofuge ; parements de briques à porosité ouverte sans aucun revêtement de surface ; enduits à la chaux hydraulique ou à la chaux aérienne neufs ; poutres en bois sec non gras et sans aucun revêtement préalable ; enduits extérieurs aux mortiers plâtre chaux sable exempts de toutes peintures filmogènes ; enduits intérieurs au plâtre propres et secs.

### Supports incompatibles

Ce badigeon ne tient pas sur des peintures organiques, enduits ciment lissés, enduits de soubassements et appuis de baies.

Exemples de supports inadaptés : agglomérés de ciment et murs en béton banché ; enduits, murs ou parements peints avec des peintures vinyliques, acryliques, à l'huile, aux silicates.

**Réglementation :** les badigeons sont indiqués dans le DTU 26 1 Lot maçonnerie - Annexe B. Les types de chaux aérienne utilisés sont couverts par la norme produit européenne EN 459-1 : CL 90 S (en poudre).



C2272 Four à chaux au XVIIIème siècle.  
Encyclopédie Diderot - BNF

### Préparation du mélange

Mélange de la chaux avec une eau adjuvantée au sel d'alun (1 kg pour 10 litres d'eau à dissoudre), le sel d'alun est un fixateur antiseptique facultatif pour le chaulage des caves. On met la chaux dans l'eau et pas l'inverse, afin de maîtriser la texture.

On peut également adjuvanter l'eau au préalable avec des résines de type acétate de polyvinyle : elles assurent la tenue mécanique des badigeons sur les parements exposés et compensent le manque d'accrochage sur certains supports pas assez poreux.

On ne dépasse surtout pas 5 % du poids total de la chaux en cas d'ajout de résine. Le sel d'alun ou alun de potasse (connu dès l'Antiquité) fixe la peinture, la floccule et facilite la carbonatation.

### Mise en œuvre

L'application se fait en deux ou trois couches, sur un support humidifié.

On peut appliquer de deux manières :

1. en croisant les couches pour étaler le badigeon en croix, ce qui donnera un effet dégradé et panaché du badigeon ;
2. en appliquant de gauche à droite puis en finissant par une couche appliquée verticalement, en faisant attention aux raccords de superposition qui viennent en surcharge.

Attention : le badigeon s'applique selon la philosophie d'un enduit ; il ne faut pas « tirer » le badigeon comme une laque ou une peinture synthétique car on risque de voir un détachement de la couche inférieure. L'application au pulvérisateur est possible. Temps indicatif entre couches : sur support existant on applique la seconde couche après 24 h lorsque la couche précédente est stable.

### Couleur du badigeon

Le badigeon de chaux pure est d'un blanc laiteux texturé qui n'a rien à voir avec celui de la froideur des peintures synthétiques. La teinte finale sera toujours beaucoup plus claire que la teinte humide.

### Aspect et finition

Il est impératif de réaliser des essais sur échantillons de grande taille pour déterminer le type de finition souhaité.

### Entretien et pathologie

Le badigeon ne nécessite aucun entretien particulier.

## 7.6. UN FACTEUR AGRAVANT : L'EAU

Malgré les systèmes de gestion des eaux souterraines (puits, citernes, aqueducs, conduites d'exhaure, etc.), il existe des venues d'eau qui aggravent la stabilité de toutes les cavités de façon mécanique ou (et) biologique, comme évoqué précédemment.

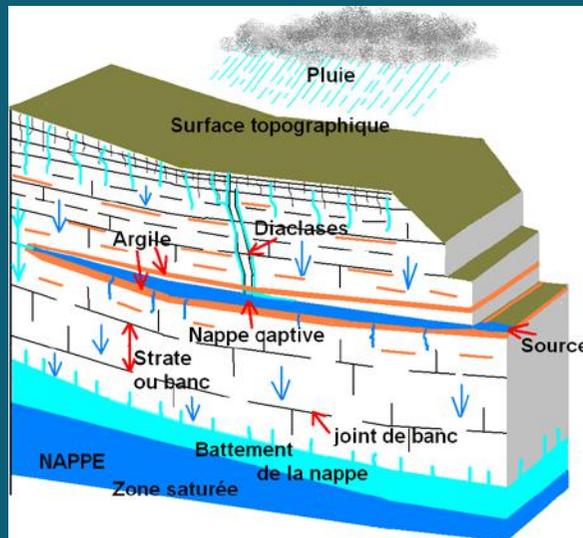
### 7.6.1 Origines des venues d'eau naturelle et données de base sur l'hydraulique souterraine

#### Définitions de quelques termes hydrogéologiques.

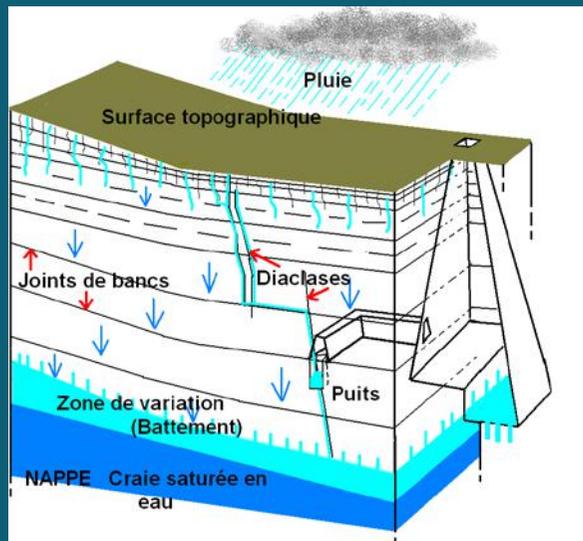
Les eaux de pluies et de la fonte des neiges (eaux météoriques) s'infiltrent dans le sol pour y cheminer jusqu'à une zone saturée en eau que l'on appelle la nappe. Les terrains poreux et perméables saturés en eau où se trouve la nappe forment l'aquifère.

On peut distinguer deux grandes familles de nappes :

1. les nappes à surface libre, que l'on appelle nappes phréatiques, accessibles aux puits et peu profondes, où le niveau d'eau correspond au niveau de la nappe. Ce niveau suit avec atténuation les variations topographiques des terrains. Le niveau supérieur de la partie saturée forme la zone de battement où l'amplitude des variations du niveau de la nappe peut atteindre plusieurs mètres.
2. les nappes captives, qui sont isolées entre deux terrains imperméables. Leurs niveaux dépendent de la constitution géologique des terrains où elles se trouvent. Ce type de nappe se trouve en Champagne dans les calcaires stratifiés.



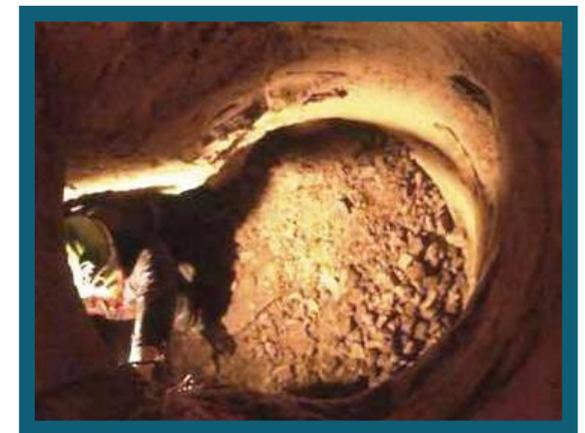
C229 Nappe captive dans un calcaire stratifié, ex. : lutétien - PHT



C228 Nappe dans la craie - PHT



C229 Nappe captive dans un calcaire stratifié, ex. : lutétien - PHT



## 7.6.2 Situation hydrogéologique des caves et venues d'eau naturelle

La majorité des caves champenoises creusées ou maçonnées dans la craie sont édifiées sur des nappes phréatiques. Une plus faible partie des caves, comme celles situées par exemple dans des anciennes carrières du Lutétien, peut être concernée par la présence de nappes captives (couches argileuses).

Les discontinuités, diaclases et joints de banc jouent un rôle fondamental dans la circulation des eaux en provenance de la surface, ces fissures laissent circuler plus rapidement l'eau.

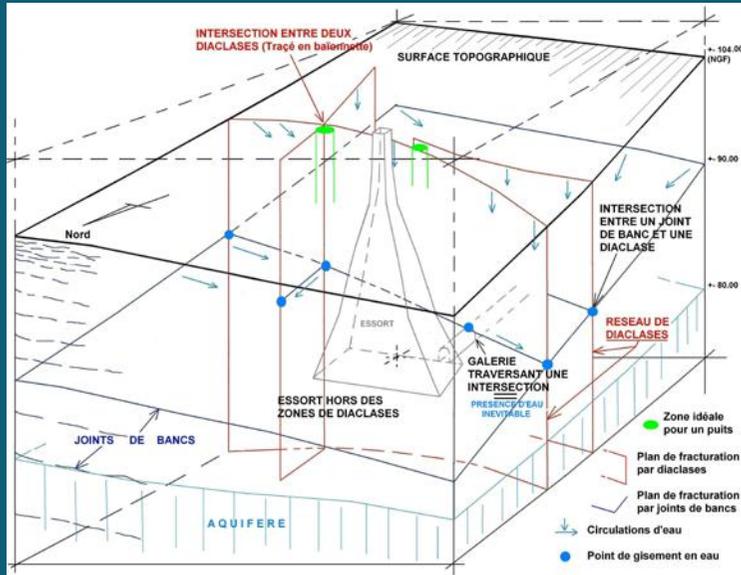
Quand une cave traverse un réseau de fissures, il s'en suit inévitablement un apport d'eau en cas de précipitations importantes. Les intersections entre les réseaux de diaclases plus ou moins verticales et les joints de banc plus ou moins horizontaux peuvent former des secteurs très productifs en eau pendant les saisons à forte pluviométrie.

Les anciens puisatiers appelaient ces zones des « courants d'eau » et les recherchaient pour le creusement des puits ; en revanche, les carriers essayaient d'éviter ces secteurs, source de désordres.

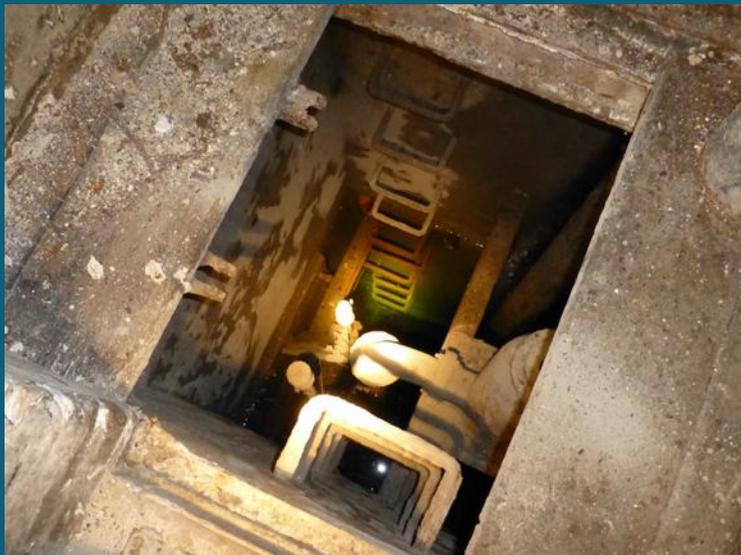
Au début du XX<sup>e</sup> siècle, la densification importante des caves de Champagne ne tient pas tout le temps compte de cet aléa et de nombreux secteurs subissent des apports d'eau ponctuels importants inévitables, car les galeries établies sur un plan rectiligne fonctionnel traversent systématiquement les secteurs à forte discontinuité.

Ces apports d'eau restent une des préoccupations majeures des chefs de cave.

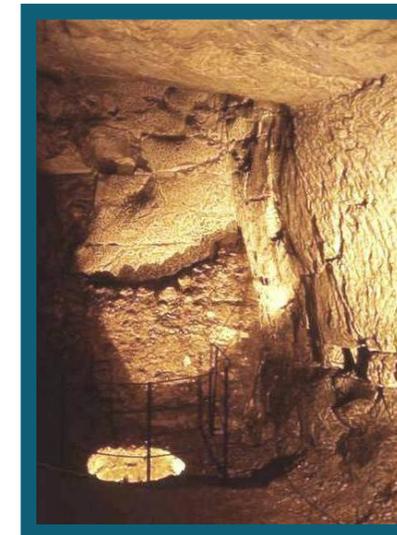
Il faut rappeler que l'on ne peut pas éviter ces venues d'eau. Il est possible de les canaliser et de les réduire sensiblement par un couvert végétal adapté en surface.



C230 Exemple d'étude des apports d'eau dans une galerie de cave creusée dans la craie - PHT



C2301 Système de pompage Caves Drappier à Reims – PHT



C2302 Les puits permettent une mesure directe des niveaux d'eau (Piézométrie) - PHT

### 7.6.3 Influence des variations du niveau de la nappe sur la stabilité des caves

Les deux causes principales de variation du niveau de la nappe sont :

- d'origine naturelle : périodes de pluviométrie importantes et brutales ;
- d'origine humaine : ouvrages ayant pour effet de faire varier le niveau de la nappe.

Dans les deux cas, l'amplitude des variations va poser un problème sérieux pour les cavités remblayées proches des caves occupées.

En effet, de nombreuses caves ont été remblayées suite à leur abandon car trop fastidieuses à gérer du fait de leur situation profonde, et parfois oubliées.

Les variations du niveau de la nappe vont entraîner au moment de leurs régressions les particules fines qui constituent une partie des remblais ou les sols remaniés, pour créer des vides générateurs de désordres (fontis).

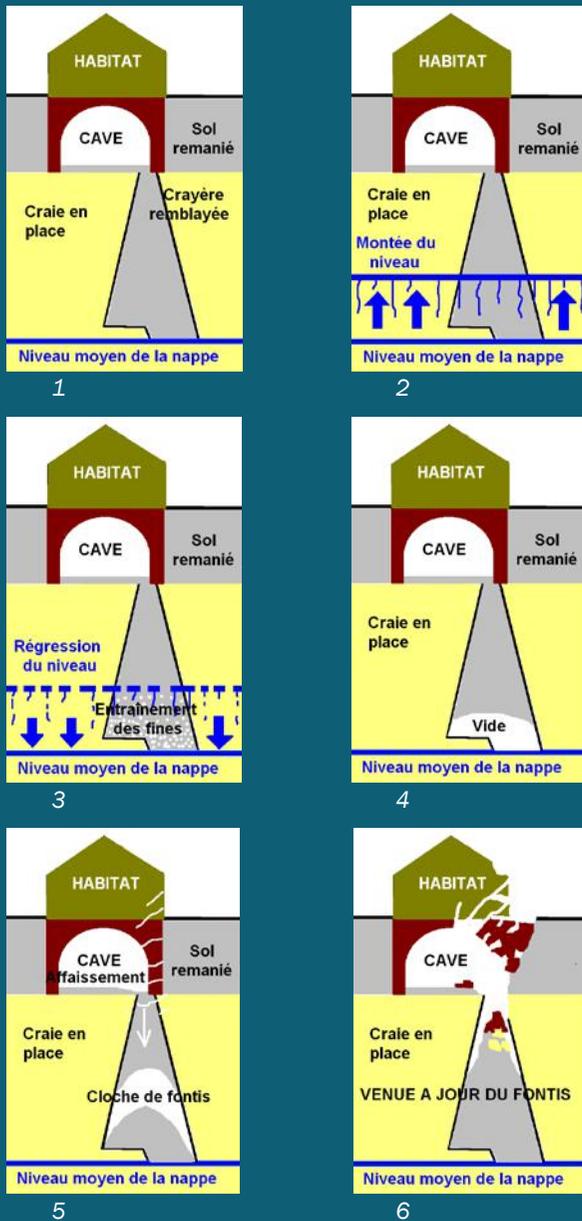
Ce phénomène fréquemment rencontré en Champagne porte le nom de « soutirage des fines ».

Le phénomène de soutirage des fines affecte aussi bien les caves dans des crayères, ou des carrières, que les caves maçonnées, notamment lorsqu'il existe des niveaux inférieurs très bas (3<sup>e</sup> au 5<sup>e</sup> niveau).

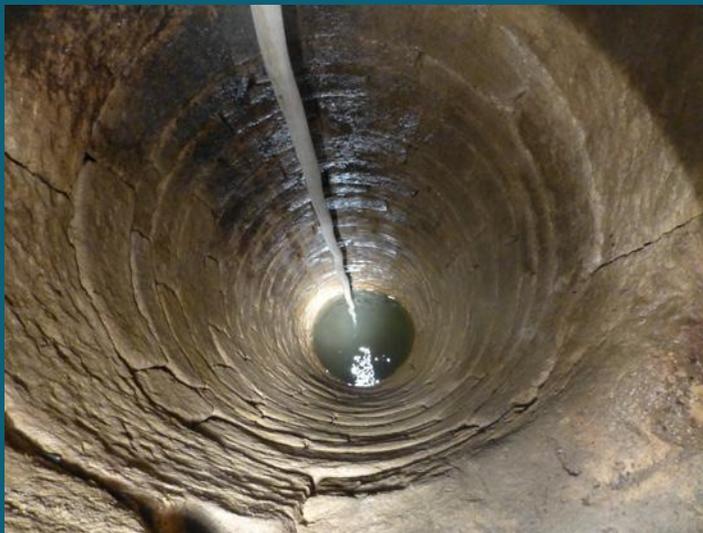
Lorsque l'on dispose de plus de 3 étages de caves avec un dernier niveau humide ou inondé, il faut se demander si, à l'époque de la réalisation des caves, la nappe était à la même hauteur qu'aujourd'hui !

La réponse négative est évidente... sauf en cas de création d'un système de captage.

Il faut donc être très prudent en cas de pompage des eaux des cavités basses inondées afin de ne pas déstabiliser les ouvrages supérieurs par un soutirage des fines de leurs horizons porteurs.



C231 Phasages du sous-minage dû au soutirage des fines dans un essor remblayé - PHT



C2312 Les puits permettent d'observer directement les variations des niveaux d'eau.

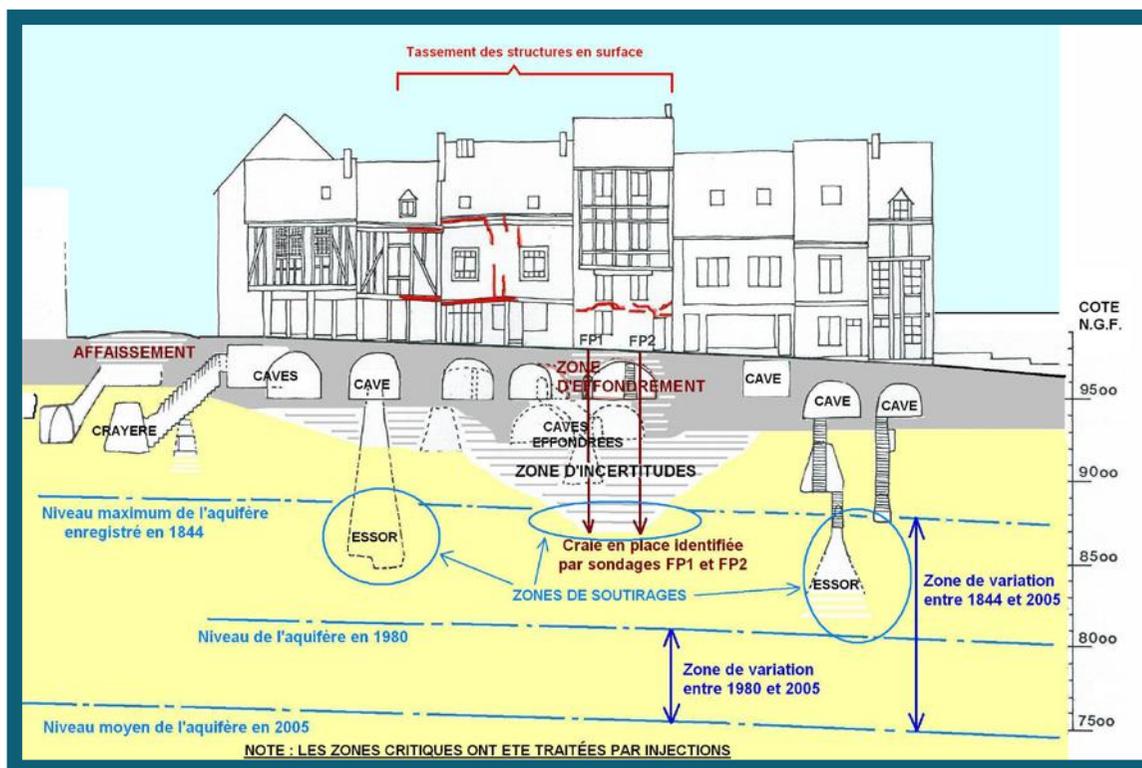


C2313 Les variations d'eau historiques sont souvent consignées in situ.

Ci-dessous, exemple d'étude des variations des niveaux de la nappe, suite à trois effondrements survenus à Reims dans le quartier Saint-Remi où la nappe est montée jusqu'à 13 mètres au-dessus de son niveau moyen en 2003 !

Les variations indiquées sont d'origine humaine:elles ont pour principale cause le comblement des fossés d'écoulement des fortifications de Reims, en 1840, qui servaient d'égouts à ciel ouvert vers la rivière Vesle, sans création de réseaux d'écoulement compensateurs (rapport de Narcisse Brunette en 1844).

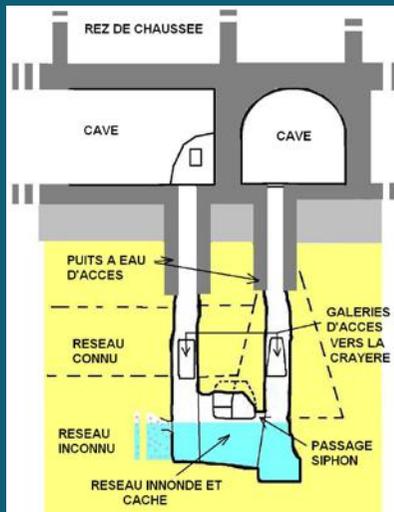
Les eaux usées et pluviales de la ville se sont ainsi accumulées dans les quartiers Est pour inonder une partie des crayères de la Maison Clicquot.



C2314 Exemple de l'influence des variations des niveaux d'eau dans le sous sol.



C232 C232B Caves inondées



C233 Coupe schématique de la cache médiévale de Reims

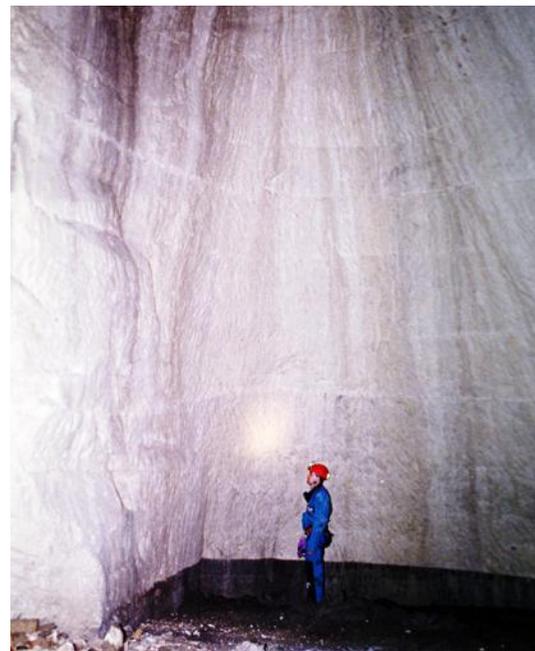
#### 7.6.4 Fuites des réseaux

Les fuites des réseaux sous pression et en écoulement libre sont des facteurs aggravants et déclenchant des désordres. Si les fuites d'eau sous pression sont facilement identifiables, il n'en va pas de même pour les réseaux d'écoulement où les ruptures de canalisations peuvent avoir des effets dévastateurs du fait de leurs détections tardives.

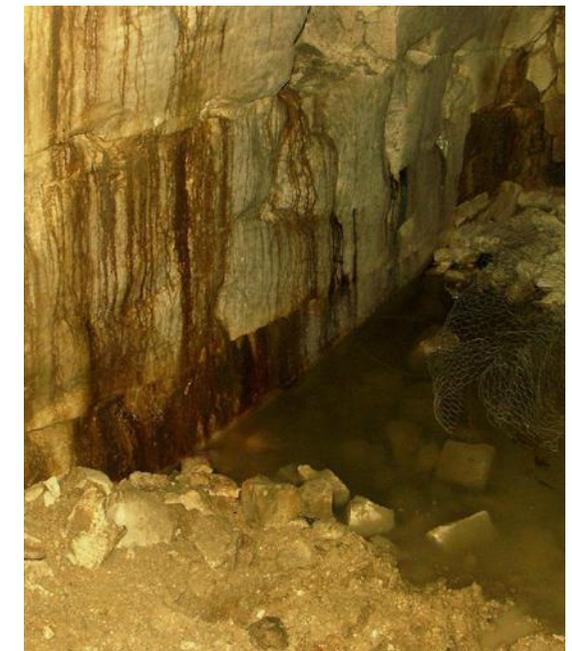
Il faut donc avoir un plan précis de tous les réseaux que l'on superpose sur la carte géotechnique des caves.

#### 7.6.5 Les caves inondées

On peut distinguer les caves inondées volontairement (manque d'entretien, sources non canalisées, caves citernes) et involontairement (nouvelles sources, fuites et ruptures de réseaux, variations de l'aquifère). Le suivi des variations de la nappe, pour les caves basses, est un facteur prépondérant. Un cas très rare de cache située dans un réseau inondé et accessible à partir d'un passage siphon est recensé à Reims, sous un ancien prieuré bénédictin. Le cas des puits à eau dans les caves, qui servent d'accès vers des galeries de fuite, est connu depuis la période médiévale en Champagne.



C233Bis Crayère avec un dépôt d'hydrocarbures - PHT



C233Ter Crayère à proximité d'un égout fuyard - PHT

## LES ENTRÉES DE CAVES ISOLÉES...

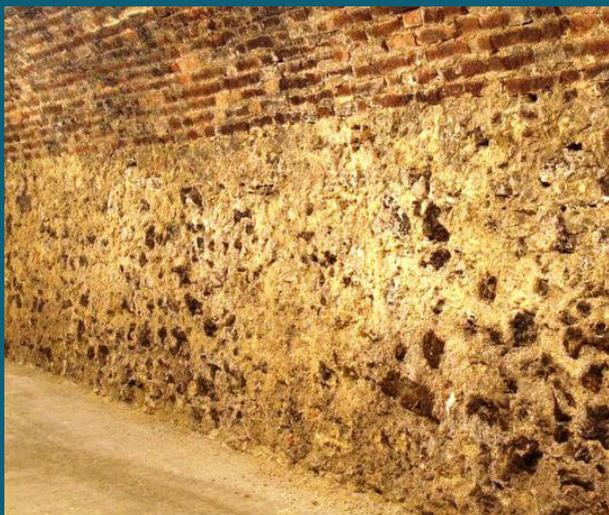
Un soin particulier doit être apporté aux entrées de caves isolées. Quelles soient utilisées ou non celles-ci font partie de notre paysage champenois au même titre que les loges, cadoles, cheminées d'essor, cet ensemble de détails fait la particularité de notre environnement. La problématique majeure des entrées de caves reste la sécurisation. Il n'y a pas de recette miracle, cependant une entrée de cave trop visible et blindée attire plus les

convoitises qu'une entrée cossue et discrète. Quelques recommandations : si la cave est inutilisée on préférera une grille ajourée qui laisse voir la cavité et permet une aération. Si la cave est utilisée ponctuellement ou en permanence on préférera de lourdes portes en bois avec des systèmes de sécurité et d'aération adaptés.



Note : tous les clichés ci-dessus ont été pris sur la route du Champagne.

## 8. LA CONSERVATION : ENTRE ESTHÉTIQUE ET VALORISATION



C2342 Piliers en briques dans une cave en brique et meulière et briques s'accordent à condition qu'ils soient hourdés au mortier de chaux hydraulique : Les matériaux identiques s'intègrent mieux - MG

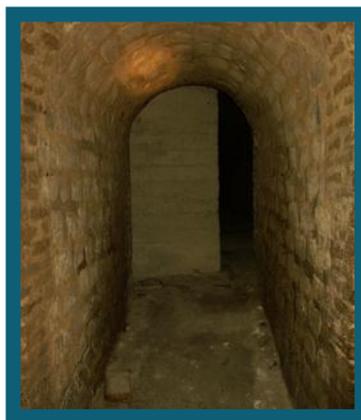
### 8.1. L'esthétique

#### 8.1.1 L'esthétique et la dissimulation des confortations et des réseaux

A priori, l'esthétique des confortations apparaît comme subjective et non prioritaire par rapport aux objectifs de soutènements. Cependant, certains aspects des ouvrages défigurent les cavités et mettent en évidence un manque de soin dans la réalisation des ouvrages. L'utilisation de matériaux anachroniques est souvent perçue comme une atteinte à l'esthétique. L'intégration architecturale, la modernité et la technicité sont tout à fait compatibles.

**L'image que l'on donne de sa cave constitue une partie prépondérante de l'image du Champagne.**

#### 8.1.2 Esthétique des confortations en béton (croquis PHT)



C234 A éviter



C235 Idéal

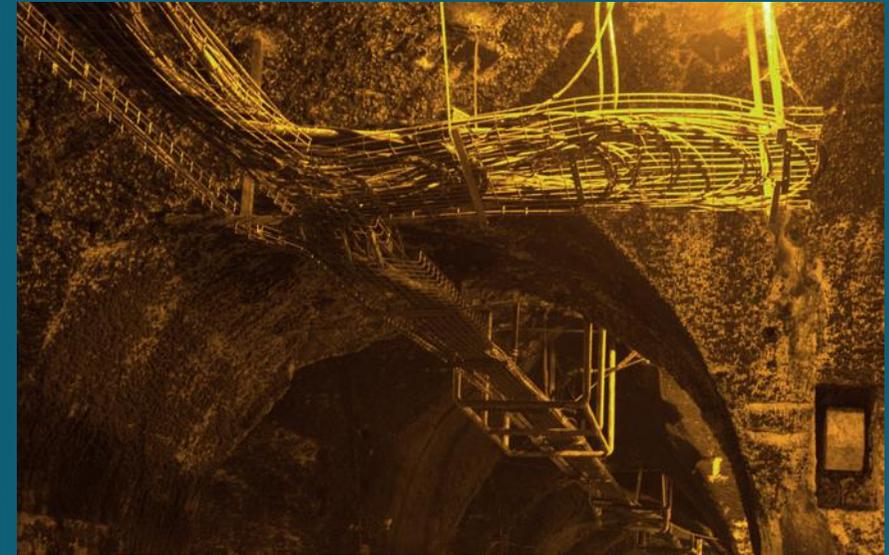


C236 Possible

### 8.1.3 Esthétique des réseaux



C237 C238 Il existe des câbles électriques de couleur blanche ! - PHT



C239 Chemins de câbles encombrés - PHT



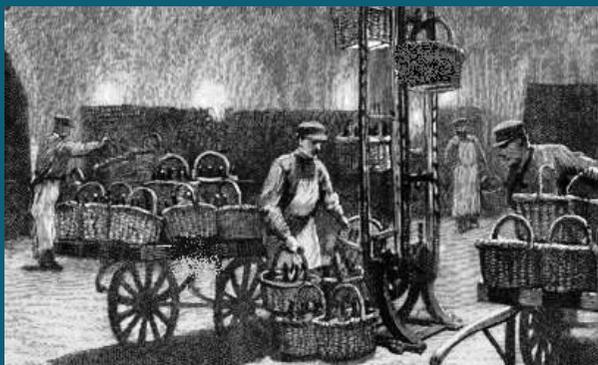
C240 C241 Traitement esthétique des fondations profondes qui traversent une cave - PHT



C242 A éviter - PHT



C243 C244 Abandon d'un ancien escalier de carrier - PHT



C245 UMC C246 UMC C247 UMC C248 - MG La bougie pour les cavistes et le chandelier pour les visiteurs

#### 8.1.4 Le dimensionnement des ouvrages

Les critères techniques (résistance, etc.) sont prépondérants dans le dimensionnement des ouvrages. Cela n'empêche pas de respecter certaines proportions en adéquation avec la géométrie structurale des caves existantes.

#### 8.1.5 Matériaux

Le matériau le plus utilisé dans les confortations est le béton. Dans la plupart des cas, celui-ci s'accorde mal avec les maçonneries anciennes. Il faut donc prévoir des stratégies d'atténuation par coloration des ouvrages ou par le choix d'un ciment blanc comme liant.

#### 8.1.6 L'éclairage

Il faut faire la différence entre l'éclairage du carrier ou du mineur systématiquement mobile qui creuse les galeries, avec l'éclairage du caviste qui recherche une source de lumière plus statique.

Les deux sources les plus anciennes de lumière utilisées par les cavistes sont :

- la bougie, qui permet de se «poser» sur un chantier. Ce moyen d'éclairage avait l'inconvénient d'être assez dispendieux mais il diffusait une lumière douce et chaleureuse. L'avantage le plus important est lié à la sécurité du caviste : la bougie avertissait par son extinction rapide de la présence de gaz toxiques à une époque où la majeure partie du travail de vinification s'effectuait en cave.
- l'éclairage naturel par les puits ou les essors est utilisé avec ou sans la bougie et consiste à diffuser un maximum de lumière zénithale avec des réflecteurs en tôles polies inclinés et situés en bas des essors. Il s'agit d'un système écologique car il ne nécessite pas de production d'énergie d'origine humaine. Cependant, de nombreux inconvénients ont limité son usage : il faut avoir des caves avec des essors, ce qui n'est pas le cas de toutes les Maisons ; la source naturelle de lumière impose un rythme de travail en fonction des saisons et de la météo, ce qui empêche de travailler tardivement le soir, notamment pendant les périodes de forte production ; l'orientation des essors doit permettre une optimisation des moyens de captage de la lumière naturelle - cet aspect n'était pas la préoccupation majeure des carriers pour les crayères anciennes...



C252 C253 C254 Systèmes d'éclairage anciens des caves - MG

L'arrivée de l'électricité à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle introduit un système d'éclairage spécifique aux caves de Champagne, constitué par deux fils d'alimentation fixé au plafond avec des potences isolées. On pose sur ces fils dénudés un râteau ou un trolley avec une ampoule, qui se déplace facilement pour éclairer la zone de travail.

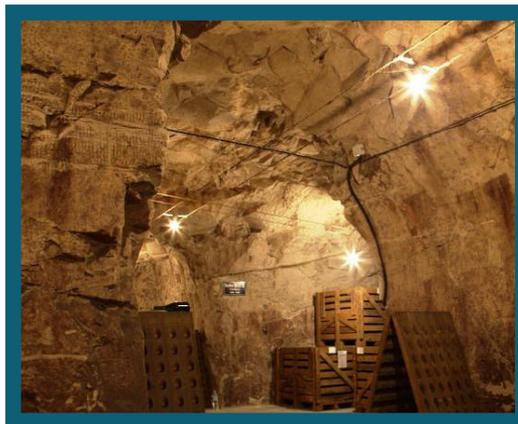
Le réseau à basse tension, divisé par des interrupteurs, permet un entretien facile. Dans les secteurs de passage permanent, on fixe des points d'éclairage avec des ampoules moins puissantes mais qui disposent de réflecteurs afin de couvrir un maximum de surface.

La conservation des anciens systèmes d'éclairages en cave :

S'il existe des vestiges d'un ancien système d'éclairage, il faut les conserver car l'éclairage par « trolley » fait partie du patrimoine industriel de la Champagne.

Les nouvelles technologies permettent de conserver et de restaurer ces anciens systèmes par l'utilisation de basse ou de très basse tension, d'ampoules à très faible consommation ayant la forme des ampoules anciennes. Des protections (disjoncteurs) extrêmement sensibles complètent l'installation.

Ce principe d'éclairage hors de portée des visiteurs évite la prolifération de câbles et accroches plastifiées particulièrement inesthétiques. En revanche, ce système n'est pas applicable dans les galeries de faible hauteur où le recours aux câbles enterrés paraît le plus judicieux. Les éclairages scéniques sont à proscrire car ils dégagent trop de chaleur.



C255 Restauration d'un système - MG



C256 Potence d'éclairage en fer forgé - MG



C257 C258 L'éclairage direct des parois avec une lumière intense favorise la prolifération des algues vertes en périphérie du halo - PHT

### Les règles d'éclairage en cave (rappel général)

Il faut bien différencier l'éclairage normal en cave de l'éclairage de sécurité. L'éclairage normal est adapté aux visites et à l'utilisation des caves par différents systèmes. L'éclairage de sécurité doit répondre à deux objectifs :

- une évacuation, grâce à la signalisation des sorties avec un balisage normalisé des cheminements lisibles à toute personne ;
- un éclairage d'ambiance, qui évite la panique lors d'une coupure générale de l'alimentation normale, obligatoire si les caves reçoivent plus de 50 personnes (sous réserve de modifications réglementaires).

### Les inconvénients d'un éclairage inadapté en cave

Mis à part les aspects esthétiques, l'inconvénient d'un éclairage inadapté est la prolifération de micro-organismes (algues, mousses etc.).

Il faut éviter d'éclairer directement les parois par le bas ou par le haut ; l'éclairage à trolley au centre de la galerie permet une diffusion de la lumière moins favorable au développement des micro-organismes.

Il est vivement conseillé de faire installer un procédé d'allumage par cellules de détection afin d'éviter un éclairage permanent pendant les périodes de visite, qui favoriserait dans tous les cas l'apparition de micro-organismes, et de ventiler les caves après les visites.

Un éclairage trop puissant et calorifique détruit les micro-organisme dans la zone de proximité immédiate mais il favorise considérablement leur développement dans les zones périphériques éclairées.

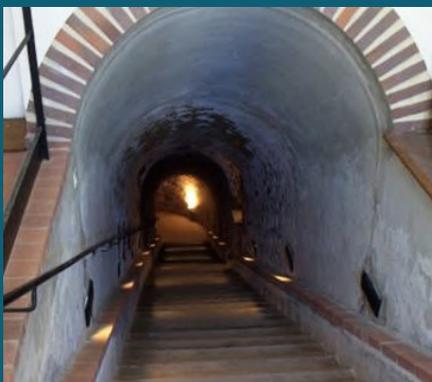
### POUR EN SAVOIR PLUS

Dossier web INRS Risques électriques, sur le site :

[www.inrs.fr/risques/electriques](http://www.inrs.fr/risques/electriques)

**ATTENTION BASSE TENSION !** Le terme « basse tension » ne doit pas être interprété comme une garantie de sécurité car la basse tension s'étend jusqu'à 1 000 V en courant alternatif. Toutes les tensions électriques au-delà de 50 V sont potentiellement mortelles.

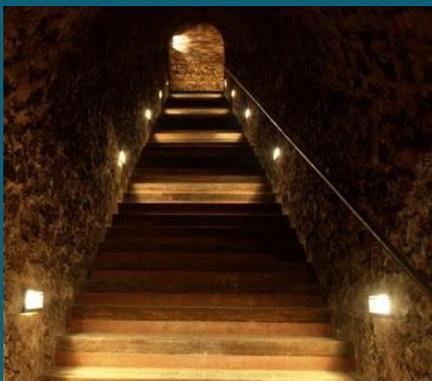
Les prises de courant chez les particuliers ou dans les bureaux sont alimentées sous 220 V.



C259 Eclairage progressif par blanchiment - MG



C260 L'idéal- MG



C261 Attention aux zones d'ombres - MG

## L'éclairage des escaliers, sécurisation

Deux points importants concernent la sécurisation des escaliers : l'éclairage et les lisses ou mains courantes.

### L'éclairage : ce sont les marches qu'il faut éclairer, pas les visiteurs !

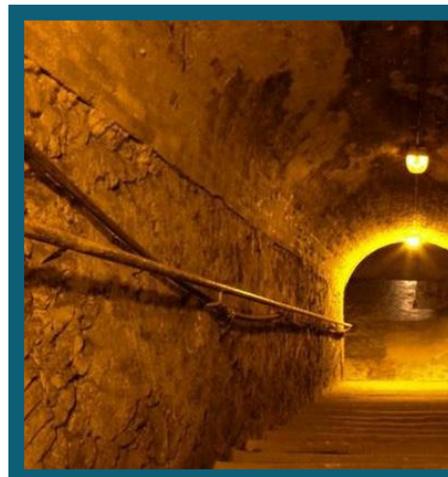
La disposition idéale des points d'éclairage se fait donc en zone basse et latéralement de chaque côté de l'embranchement, en évitant les zones d'ombre avec un niveau d'éclairage continu et réparti.

La disposition d'un éclairage progressif en entrée de cave évite l'effet de contraste du jour qui perturbe la sensibilité oculaire et fatigue les guides. On peut facilement pallier cet inconvénient par la pose d'une peinture blanche matte dans les premiers mètres de la descente de cave, ou par un auvent situé au début de l'embranchement, qui crée une ombre portée.

**Les lisses ou mains courantes :** elles doivent être rigides afin de permettre de prendre un appui ; les lisses en matériaux mous qui accentuent les risques de chute sont à proscrire. La main courante ne doit pas blesser la main ni être encombrée par un passage de réseau.

Leur nombre doit être adapté aux largeurs des escaliers : de 0,90 m à 1,20 m, une lisse obligatoire ; de 1,40 m à 1,80 m, au moins deux lisses le long des murs d'échiffres ; au-delà, une main courante centrale en plus. Une attention particulière est à prévoir dans les escaliers qui servent aux visites par rapport aux escaliers de service ou une lisse suffit généralement.

Attention également aux marches trop usées et glissantes que l'on peut sécuriser avec des patines rugueuses.

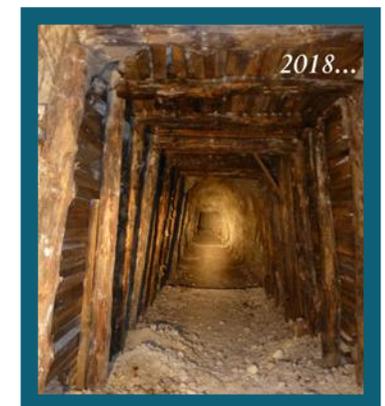
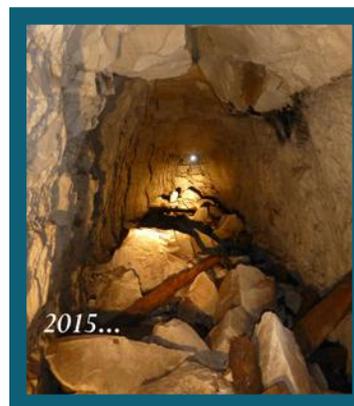
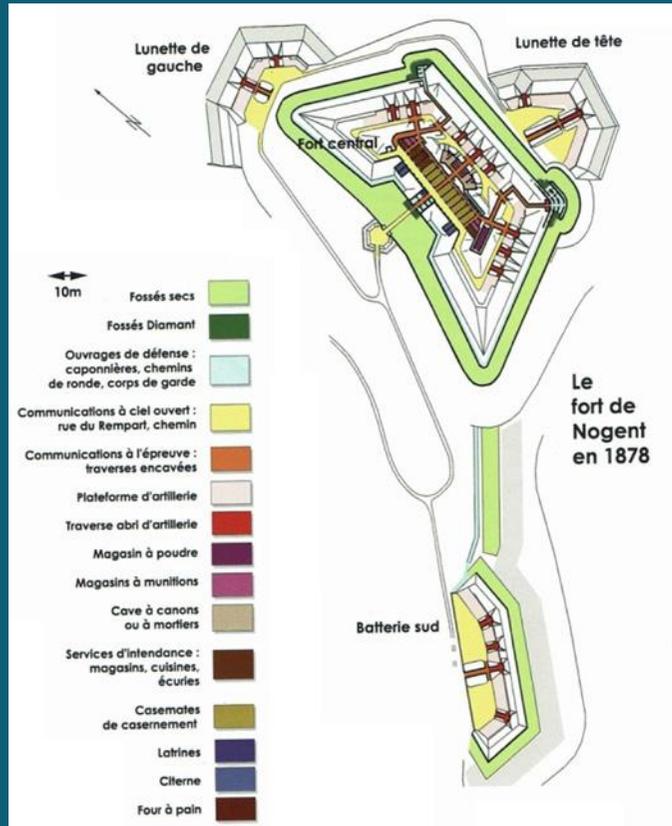


C262 C263 CE QU'IL NE FAUT PAS FAIRE : lisse en cordage, lisse encombrée et éclairage éblouissant sur sol glissant - PHT

## 8.2 EXEMPLES DE VALORISATIONS

### 8.2.1 Réhabilitation de locaux souterrains militaires

Le fort de Nogent l'Abbesse, dépôt de munitions de la base aérienne 112, cesse son activité en 2014 après 137 ans d'occupation militaire. En 2012, il est racheté par la Coopérative de Nogent l'Abbesse et de Cernay-les-Reims qui, après des travaux de sécurisation, y entrepasse des bouteilles...



Restitution des boisages des galeries souterraines du fort de 1917 - PHT

## 8.2.2 Patrimoine géologique

Un exemple : la cave aux coquillages à Fleury-la-Rivière

LA CAVE  
AUX  
COQUILLAGES



Imaginez  
la Champagne  
il y a 45 millions  
d'années

LE PAYSAGE N'A ALORS RIEN DE COMMUN  
AVEC CELUI QU'ON LUI CONNAÎT !



DÉCOUVREZ  
L'ENOGÉOLOGIE

À LA DÉCOUVERTE  
D'UN PATRIMOINE UNIQUE  
EN CHAMPAGNE...

WWW.GEOLOGIE-OENOLOGIE.FR

**Marchez  
dans les pas d'un  
paléontologue**

ET DÉCOUVREZ LA CAVE  
AUX COQUILLAGES !

Passée la porte, la température commence à baisser et l'air se fait plus humide... vous voilà dans les entrailles de la terre ! Partant d'anciennes caves de champagne aujourd'hui aménagées en galeries souterraines, le labyrinthe vous entraîne dans une fabuleuse épopée à travers les âges. C'est une spectaculaire plage fossile telle qu'elle a été découverte qui vous est maintenant présentée...

À moins que vous ne préfériez devenir acteur de votre visite, en participant au chantier de fouilles permanent ?

Nos différentes formules d'ateliers sauront répondre aux attentes de toute la famille... ainsi qu'au public des spécialistes car la Cave aux Coquillages abrite également un centre de recherches !

Point de vignes mais une plage tropicale à perte de vue, où règnent une flore et une faune des plus exotiques... Parmi elle, le campanile gigantesque, un gastéropode géant de plus de 40 cm de long ! Site fossilifère de grande renommée, Fleury-la-Rivière vous invite à remonter le cours de l'histoire.

Là, au cœur des vignes de la Vallée de la Marne, un complexe tout à fait atypique et unique en Champagne vous ouvre ses portes pour une immersion tout à fait exceptionnelle dans l'univers de la paléontologie...

**Participez à  
des ateliers**



**Profitez d'un séjour  
en Champagne**



**Et prolongez  
l'expérience**

EN SÉJOURNANT DANS L'UNE DE NOS TROIS CHALEUREUSES CHAMBRES D'HÔTES, AU CŒUR MÊME DE NOTRE COMPLEXE !

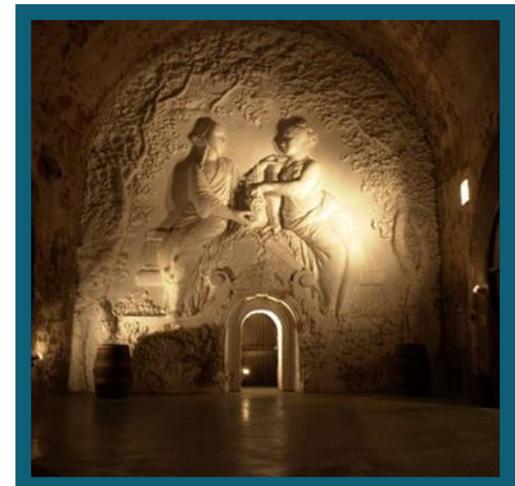
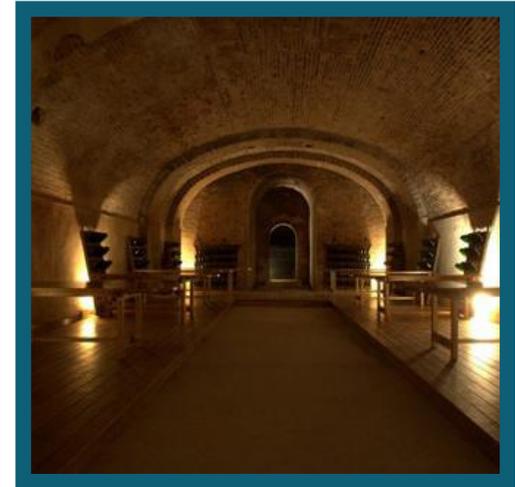
Aménagée dans une ancienne ferme champenoise, notre Maison d'Hôtes sera le point de départ de votre découverte de la Cave aux Coquillages et du Champagne Legrand-Latour. Avec l'échange et la convivialité pour maîtres mots, nous serons ravis de vous recevoir et de partager avec vous, nos deux passions : le vin et la géologie.

Au cœur d'un bar d'inspiration 1900, ou sur notre terrasse dès le retour des beaux jours, vous pourrez déguster notre gamme de champagnes dont notre cuvée « La Cave aux Coquillages » !

Bien sûr, votre aventure ne saurait être complète sans un passage par notre boutique, où vous retrouverez le Champagne Legrand-Latour comme de nombreux souvenirs La Cave aux Coquillages !

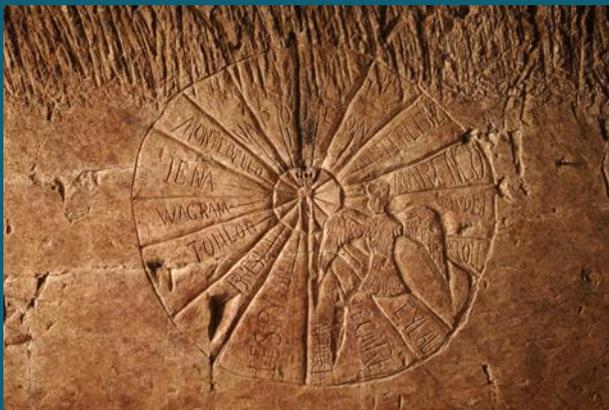
### 8.2.3 Œnothèques, boutiques permanentes ou éphémères :

(clichés MG)





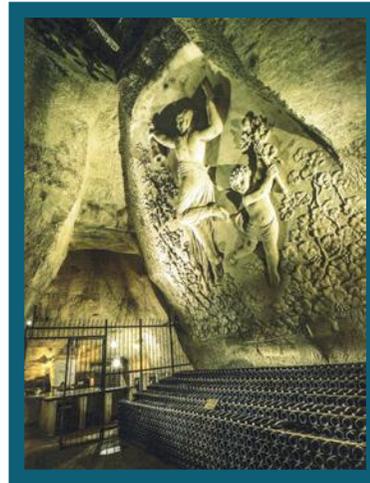
C264 : Graffiti dans les Caves Pannier (cliché MJ)



C265 : Graffiti dans les Caves Pol Roger (Cliché MJ)

### 8.2.4 Les graffiti et sculptures :

Dessins, inscriptions, graffiti, les murs de craie des caves de Champagne sont gravés de témoignages historiques comme de simples messages. Certains méritent d'être préservés et mis en valeur.



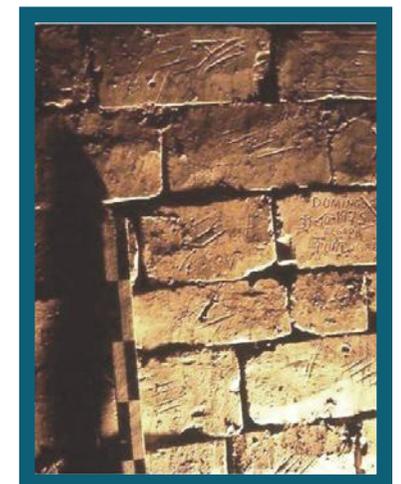
Reims ...



Épernay ...



Signes lapidaires de pose et d'extraction ...



Crayères Saint-Remi à Reims

## TYPES DES ERP :

**L** : salle d'audition, conférences, spectacles ou usages multiples.

**M** : magasin, centre commercial.

**N** : restaurant, débit de boisson.

**O** : hôtel, pension de famille.

**P** : salle de danse et de jeux.

**R** : écoles, colonie de vacances.

**S** : bibliothèque, centre de documentation.

**T** : salle d'exposition, foire, salon.

**U** : établissement sanitaire.

**V** : établissement de culte.

**W** : administration, banque, bureau.

**X** : établissement sportif couvert.

**Y** : musée.

## CATÉGORIES DES ERP :

**1<sup>re</sup> catégorie** : Etablissement recevant plus de 1500 personnes.

**2<sup>e</sup> catégorie** : de 701 à 1500 personnes.

**3<sup>e</sup> catégorie** : de 301 à 700 personnes.

**4<sup>e</sup> catégorie** : 300 et en dessous à l'exception des établissements de 5<sup>ème</sup> catégorie.

**5<sup>e</sup> catégorie** : seuil d'assujettissement fixé par les différents règlements en général 20 pour les caves et sous-sol.

## POUR EN SAVOIR PLUS

Sécurité et accessibilité dans les établissements recevant du public (ERP) guide à l'usage des maires  
Site : Préfecture de la Marne

A consulter en préalable : code de la construction et de l'habitation, articles R-123 à R-123-55 et R-111 à R-111-19 / Code de l'urbanisme / Arrêté du 25 juin 1980 / Code du travail. Services Départementaux d'Incendie et de Secours (SDIS)

# PRINCIPES RÉGLEMENTAIRES DE SÉCURITÉ DANS LES CAVES POUR L'ACCUEIL DU PUBLIC

La conception d'un projet qui intègre la réception du public dans une cave exige le respect des dispositions réglementaires de sécurité concernant les risques d'incendie et de panique avec les mesures d'accessibilité des personnes handicapées. Ce qui ne dispense le maître d'ouvrage de respecter les autres réglementations car tous les travaux sont soumis à une autorisation préalable.

Un Etablissement Recevant du Public (ERP) est un bâtiment, local ou une enceinte dans lesquels des personnes sont admises moyennant ou non une rétribution ou participation payante compris la tenue de réunions quelles que soient sur invitation ou non. En clair : la visite du public en cave se fait dans un ERP.

Pour connaître les règles qui sont applicables à votre cave il vous faut tout d'abord classer votre établissement : par type selon la nature de l'activité, puis par catégorie en fonction de l'effectif reçu compris le personnel. En général les caves sont classées en type Y de catégorie 5 (Voir tableaux).

En fonction du classement de votre ERP des mesures de sécurité seront applicables qui prennent en compte : l'implantation de la cave, la construction, les dégagements, la ventilation, le désenfumage, l'électricité,

les éclairages normaux et de sécurité (distincts), le chauffage, la climatisation et le traitement de l'air, les risques particuliers (Souvent liés à l'utilisation de la cave), les moyens de secours...

Les points principaux à prendre en compte dans votre avant-projet concernent la solidité des ouvrages souterrains (Géotechnique), l'accessibilité des engins de secours (Voirie portante), le nombre et la largeur des sorties de secours (Escaliers, ascenseurs), le désenfumage (Essors), la surveillance (Formation et qualifications des personnels).

Attention ! Tous les éléments évoqués ci-dessus seront vérifiés en amont sur dossier et sur place par la commission de sécurité en charge de l'instruction de votre projet qui procédera à une visite de validation préalable à l'ouverture au public.

**Les commissions de sécurité ne sont plus responsables du volet concernant la solidité des ouvrages depuis 1995 (Décret 95-260). Il est donc demandé un diagnostic de stabilité qui prend en compte également l'environnement de la cavité. Ce diagnostic est assorti des préconisations à prendre en compte pour des éventuels travaux de confortation à réaliser avant l'ouverture au public qui seront ensuite validés par une étude du dossier et une visite.**

Attention ! Les outils proposés dans ce guide visent à vous permettre de préparer des mesures conservatoires pour avoir une évaluation globale de la faisabilité viable de votre projet, car l'étude de solidité des ouvrages doit être réalisée par un organisme agréé ou un homme de l'art qui se servira de vos plans et observations.

Rappelons que les contraintes demandées sont là pour vous protéger et protéger vos publics, elles ne doivent pas servir d'alibi à l'abandon d'une cave. Il faut bien préparer son dossier avec un argumentaire imparable sur les zones de visite et ne pas hésiter à contacter très en amont les services concernés.

# CONCLUSIONS

## LES DIX COMMANDEMENTS DU VIGNERON ET DU CHEF DE CAVE

---

1. Bien connaître et bien évaluer l'état de conservation de sa cave pour anticiper.
2. Penser d'abord à la sécurité des personnes et ensuite à la sécurité des biens.
3. Inspecter régulièrement sa cave et confronter ses observations avec ceux qui y travaillent; tenir un journal de bord et disposer au minimum d'un plan de sa cave.
4. Préparer un projet de conservation et de développement avec du bon sens ; ne pas écouter les vendeurs de produits miracles qui fonctionnent à très court terme ou qui suivent une mode éphémère ; ne pas raisonner tout seul et s'entourer de conseils compétents ; aller voir ce qui fonctionne et ce qui ne fonctionne pas.
5. Ne pas utiliser des matériaux inadaptés aux caves anciennes (exemple : rejointoiements et enduits à base de ciment, peintures filmogènes, etc.).
6. Tout faire pour conserver les détails qui font le charme des visites d'une cave : les graffitis, les vestiges d'éclairage, les machines, etc.
7. Il faut respecter la fonctionnalité des caves et leurs technicités propres issues de la tradition du Champagne avant d'imposer son propre « goût » pour les aménagements. Cette attitude est une garantie de la conservation des caves et donc de leur transmission aux générations futures.
8. Se souvenir que les caves qui nous paraissent inutiles de nos jours seront certainement utilisées par les générations à venir avec d'autres technologies et des projets innovants.
9. Ne pas oublier que la cave représente pour le visiteur (hormis la dégustation) l'endroit le plus secret et le plus attirant à découvrir.
10. Valoriser les caves et avoir des projets reste la meilleure solution de prospérité pour le patrimoine champenois, ce qui n'empêche pas les innovations technologiques.

# INDEX LEXICAL : Chapitres/Numéros d'articles

## A

Abattage, **A/1.3.2**  
Aéragé, aération, **C/6.2.7**  
Ancrage, **C/6.3.4**  
Affaissement, **C/7**  
Altérations, **C/7.5**  
Appareils, **A/1.4.3**  
Aquifère, **C/7.6**  
Arcs, **C/6.3.2 et 7.3**

## B

Bancs, **B/3**  
Boulonnage, **C/6.3.4**  
Bourrage, **A/1.3**  
Boutisse, **A/1.4.5**  
Badigeons, **C/7.5.8**  
Briques, **A/1.4.5**  
Béton armé, **A/1.4.6**

## C

Carte géotechnique, **B/3.1.8**  
Carte historique, **B/2.1**  
Cave, **A/1.1.2 et 1.5**  
Carbonatation, **C/7.4**  
Chambre et piliers, **A/1.3**  
Ciel, **A/1.3**  
Comblement, **C/6.3.6**  
Confortations, **C/6.2 et 6.3**  
Cadres, **C/6.3.3**  
Coûts, **B/2.4**  
Carrières, **A/1.3**  
Craie, **A/1.1.2**  
Chaux, **C/7.5.8**  
Crayères, **A/1.1**  
Crétacé, **A/1.1**  
Cloche de fontis, **C/7.1**

## D

Débitage, **A/1.3**  
Détachement de banc, **B/3**  
Dépilage, **A/1.3**  
Diaclase, **B/3.1.2**  
Diagnostic, **B/3**  
Diagraphies, **B/2.3.3**  
Déblais, **A/1.2.9**  
Discontinuités, **A/1**

## E

Effondrement, **C/7**  
Etat des cavités,  
des biens, **B/3**  
Exploitations, **A/1**  
Essort, **A/1.3**  
Epernay, **A/1.2**  
Electromagnétiques, **B/2.2.2**  
Electriques, **B/2.2.4**  
Eclairage, **C/8.2**  
Evaluation, **B/3**  
Eau, **C/7.6**

## F

Faille, **B/3.1**  
Fissure, **B/3.1**  
Fracturation, **B/3.1**  
Fondations, **C/6.3.9**  
Fontis, **C/7.1**

## G

Galeries, **A/1.3.2**  
Géologie, **A/1.4**

## H

Hagues, **A/1.3.2**  
Hydrogéologie, **C/7.6**  
Humidité, **C/6.2.8**  
Habitat vigneron, **A/1.4**  
Hygrométrie, **C/6.2.8**

## I

Injections, **C/6.3.6**

## J

Joint de banc, **B/3.1**

## M

Mesures passives, **C/6.2**  
Mesures actives, **C/6.3**  
Matériaux, **A/1.4**  
Moellons, **A/1.4.3**  
Micro-gravimétrie, **B/2.2**  
Meulières, **A/1.4.4**  
Médiévales (caves), **A/1.5**

## N

Nicaise (colline), **A/1**  
Nappe, **C/7.6**

## P

Puits foncés, **B/2.3.4**  
Protections, **C/6.2.5**  
Piliers, **C/7.3.3**  
Pieds-droits, **C/7.3.3**  
Parois des caves, **C/6.2.8**  
Panneresse, **A/1.4.5**

## R

Relevés, **B/3**  
Remplissages, **C/6.2.6**  
Reims, **A/1.1**

## S

Stratigraphie, **A/1.4.**  
Sondages carottés, **B/2.2.6**  
Sondages destructifs, **B/2.2.7**  
Scanner laser, **B/2.2.3**  
Stylolithes, **B/3.1.3**  
Stabilité, **B/3.**  
Suivi du bien, **B/3. et C/6**  
Secondaire, **A/1.4.**

## T

Température, **C/6.2.8**  
Tréfond, **C/4**  
Toit ou ciel, **C/7**  
Thermographie infra  
rouge, **B/2.2**  
Tertiaire, **A/1.3**

## U

Usages, **C/4**

## V

Ventilation, **C/6.2.7**  
Venues d'eau, **C/7.6**  
Voirie, **C/6.2.2**  
Voûtes maçonnées, **A/1.4**

## Y

Yprésien, **A/1.3.1**

PRÉFACE .....	P.3	1.4.5 Caves construites en brique de terre cuite .....	47
INTRODUCTION .....	P.5	1.4.6 Caves construites en béton .....	50
SOMMAIRE .....	P.6	<b>1.5. Les caves médiévales en Champagne, un exemple : l'Aube .....</b>	<b>P.51</b>
<b>CHAPITRE A : COMPRENDRE ET SAVOIR .....</b>	<b>P.7</b>	1.5.1 Résumé historique. ....	51
1. TYPOLOGIE DES CAVES DE CHAMPAGNE .....	P.8	1.5.2 Typologie des caves médiévales de Troyes .....	51
<b>1.1. Les carrières souterraines dans la craie, un exemple : les crayères de la colline Saint-Nicaise (Secondaire/ Crétacé) ; une particularité unique : les crayères réutilisées par les Maisons de Champagne .....</b>	<b>P.8</b>	<b>CHAPITRE B : PRÉVOIR POUR AGIR .....</b>	<b>P.55</b>
1.1.1 Résumé historique des crayères de la colline Saint-Nicaise.....	8	2. CONNAISSANCE DES OUTILS DE LOCALISATION, D'INVESTIGATION ET DE CONFORTATION .....	P.56
1.1.2 Typologie et système d'exploitation .....	17	<b>2.1. Savoir établir une cartographie historique.....</b>	<b>P.56</b>
1.1.3 Réutilisation des carrières de craie par les Maisons de Champagne.....	20	2.1.1 Plan de synthèse des données iconographiques existantes .....	56
1.1.4 Les cavités sous la colline Saint-Nicaise .....	22	2.1.2 Localisation par étude iconographique et données existantes:.....	56
<b>1.2. Les caves spécifiquement creusées pour le Champagne dans la craie, un exemple : Epernay. Une particularité unique : un surcreusement du sous-sol par les Maisons de Champagne.....</b>	<b>P.22</b>	2.1.3 Un exemple : les effondrements survenus en 1777 et 1780 dans la colline Saint-Nicaise : .57	
1.2.1 Résumé historique sur l'implantation des caves de Champagne à Epernay.....	22	2.1.4 Plan de synthèse des données d'archives .....	60
1.2.2 Typologie architecturale des caves de Champagne à Epernay.....	24	<b>2.2 Localisation : principales techniques d'investigations géophysiques : Quelques méthodes indirectes .....</b>	<b>P.61</b>
1.2.3 Profils des voûtes de caves de Champagne à Epernay (1879/1884), voûtes maçonnées à grandes portées (A44) .....	24	2.2.1 La microgravimétrie .....	61
1.2.4 Profils des voûtes de caves de Champagne à Epernay (1879/1884), voûtes taillées en pleine craie et (ou) maçonnées.....	25	2.2.2 Les méthodes électromagnétiques .....	61
1.2.5 Méthodes de creusement à partir de la surface .....	27	2.2.3 Le scanner/laser.....	61
1.2.6 Méthode de creusement en profondeur dans la craie homogène.....	27	2.2.4 Les méthodes électriques.....	62
1.2.7 Méthode de creusement en profondeur dans la craie hétérogène.....	29	2.2.5 La thermographie infra rouge .....	62
1.2.8 Cartographie schématique des grandes périodes de creusement des caves à Epernay....	30	<b>2.3 Localisation : principales techniques d'investigations géophysiques : Les méthodes directes .....</b>	<b>P.62</b>
1.2.9 Stockage des déblais issus du creusement des caves à Epernay .....	33	2.3.1 Les sondages carottés.....	62
1.2.10 Effondrements généralisés .....	34	2.3.2 Les sondages destructifs .....	62
<b>1.3. Les caves dans les formations géologiques stratifiées du tertiaire, un exemple : les carrières de la vallée de la Marne .....</b>	<b>P.35</b>	2.3.3 Exemples d'interprétation des diagraphies .....	63
1.3.1 Résumé géologique et historique .....	35	2.3.4 Les puits foncés à la main ou mécaniquement .....	64
1.3.2 Méthodes d'exploitation et de creusement .....	36	2.3.5 Reconnaissances visuelles des caves inaccessibles par vidéoscopie .....	64
1.3.3 Réutilisation des carrières.....	39	<b>2.4. Tableau indicatif d'appréciation de l'efficacité et des coûts .....</b>	<b>P.65</b>
<b>1.4. Les caves rurales et urbaines construites en maçonnerie pour le Champagne, les caves de l'habitat vigneron .....</b>	<b>P.40</b>	<b>3. DIAGNOSTIC ET ÉVALUATION DE L'ÉTAT DES CAVES .....</b>	<b>P.66</b>
1.4.1 Résumé historique .....	40	<b>3.1. Les caves dans la craie.....</b>	<b>P.66</b>
1.4.2 Techniques de construction, généralités.....	41	3.1.1 Connaissance des paramètres géologiques de base : la fracturation dans la craie.....	66
1.4.3 Caves construites en moellons de craie .....	45	3.1.2 Les diaclases, discontinuités verticales .....	66
1.4.4 Caves construites en roche du tertiaire (calcaires et meulières) .....	45	3.1.3 Les joints stylolithiques .....	66
		3.1.4 Les joints de bancs, discontinuités horizontales dans la craie .....	67
		3.1.5 Les failles, discontinuités verticales .....	67

3.1.6 Diagnostic de l'état des caves dans la craie, de leur stabilité et du niveau de dégradation .....	67
3.1.7 Outils d'analyses de la stabilité .....	67
3.1.8 Savoir réaliser une carte géotechnique de base .....	68
3.1.9 Exemple de constitution d'une carte géotechnique : .....	68
<b>3.2. Pour les caves dans les carrières de calcaire stratifiés .....</b>	<b>P.72</b>
<b>3.3. Les caves maçonnes en milieu rural et urbain .....</b>	<b>P.72</b>
3.3.1 Connaissance des paramètres géologiques de base: terrains environnants .....	72
3.3.2 Nature des matériaux utilisés .....	72
3.3.3 Exemple d'une méthode de construction avec la nature des matériaux.....	72
3.3.4 Influence des bâtiments de surface .....	73
<b>3.4. Diagnostic de l'état des caves, de leur stabilité et du niveau de dégradation .....</b>	<b>P.73</b>
Outils d'analyse de la stabilité .....	73
<b>3.5. Savoir établir une carte de l'état des ouvrages.....</b>	<b>P.74</b>
Exemple de constitution d'une carte de l'état des ouvrages souterrains.....	74

## CHAPITRE C : PROTÉGER ET VALORISER.....P.77

### 4. MAITRISE FONCIERE ET PROPRIETE DU SOUS-SOL

#### RAPPEL DES PRINCIPAUX CAS ..... P.78

<b>4.1. Droit de propriété du sous-sol (tréfonds) et délimitation .....</b>	<b>P.78</b>
<b>4.2. Dissociation du tréfonds (sous-sol) de la propriété du sol, location ou vente du tréfonds, responsabilités et conséquences.....</b>	<b>P.78</b>
<b>4.3 Acquisition par prescription du tréfonds .....</b>	<b>P.79</b>
<b>4.4 Droit d'usage, servitudes en cas d'enclave souterraine et accès .....</b>	<b>P.79</b>
<b>4.5 Arrêtés municipaux concernant les tréfonds sous la voirie dans les villes.....</b>	<b>P.80</b>

### 5. ÉTAT RÉGLEMENTAIRE DES PROTECTIONS EN SURFACE

#### ET APPLICATIONS AU SOUS-SOL ..... P.81

<b>5.1. Le Code du patrimoine .....</b>	<b>P.81</b>
<b>5.2. Protection au titre de l'inscription par l'UNESCO .....</b>	<b>P.81</b>
<b>5.3. Protection au titre des Monuments historiques .....</b>	<b>P.82</b>
(Art. 75 / Code du patrimoine: L.621-30 à L.621-32) .....	82
<b>5.4. Incidences au titre d'une Aire de mise en Valeur de l'Architecture et du Patrimoine .....</b>	<b>P.82</b>
(Art. 75, 112 et 114 / Titre III du Livre VI du Code du patrimoine: L.631-1 à L.633-1).....	82
<b>5.5. Exigences juridiques de l'inscription .....</b>	<b>P.83</b>
<b>5.6. Plan de Prévention des Risques naturels liés à la présence de cavités .....</b>	<b>P.83</b>

## 6. MESURES DE CONFORTATION ET DE CONSERVATION

### GÉNÉRALITÉS..... P.85

#### **6.1. Action préventive : le suivi de l'état des caves ou suivi de l'état du bien .....** **P.85** |

#### **6.2. Techniques de confortation -**

#### **Mesures passives : gestion des espaces de surface et souterrains .....** **P.87** |

6.2.1 Couvert végétal .....	87
6.2.2 Voirie privée et publique, réseaux hydrauliques et autres .....	88
6.2.3 Bâtiments de surface : renforcements des structures et modifications.....	89
6.2.4 Traitement des parois des caves et entretiens courants .....	90
6.2.5 Sécurisation liée aux risques de chutes de personnes et dallages .....	90
6.2.6 Consolidation des ouvrages souterrains de soutien existants .....	91
6.2.7 Ventilation, aération, gaz toxiques .....	92
6.2.8 Température, hygrométrie .....	92

#### **6.3. Mesures actives : confortation, soutien et reprise d'ouvrages en souterrain.....** **P.94** |

6.3.1 Consolidation par piliers de soutien en maçonnerie .....	94
6.3.2 Consolidation par arcs et voûtes maçonnés .....	95
6.3.3 Consolidation par cadres ou arcs en béton armé. ....	96
6.3.4 Consolidation par boulonnage .....	96
6.3.5 Consolidation par béton projeté .....	97
6.3.6 Consolidation et remplissage par injection de coulis .....	97
6.3.7 Gestion des eaux souterraines .....	98
6.3.8 Condamnation et obturation de cavités inutilisées .....	98
6.3.9 Fondations profondes des ouvrages en surface : traversées des caves .....	99

## 7. MÉCANISMES DES DÉSORDRES

### ET REMÈDES FICHES TECHNIQUES..... P.100

#### **7.1. Caves en pleine craie .....** **P.100** |

FICHE 7.1.1 Fontis et effondrement localisés d'un essor en pleine craie.....	101
FICHE 7.1.2 Fontis et effondrement localisés d'un essor en partie remblayé.....	102
FICHE 7.1.3 Fontis et effondrement d'une galerie de plein cintre taillée en pleine craie .....	103
FICHE 7.1.4 Affaissement du remplissage d'un essor totalement remblayé.....	104
FICHE 7.1.5 Rôle des discontinuités horizontales et influence des terrains sus-jacents pour une cave voûtée en plein cintre taillée dans la craie.....	105
FICHE 7.1.6 Influence du positionnement et des terrains sus-jacents pour une cave voûtée en plein cintre taillée dans la craie.....	106
7.1.7 Les effondrements généralisés .....	107
7.1.8 L'écroulement des falaises .....	107
7.1.9 Phénomènes spécifiques et conséquences : les effets de la nature des terrains de recouvrement .....	107

<b>7.2 CAVES DANS LES CALCAIRES STRATIFIÉS DU LUTETIEN .....</b>	<b>P.107</b>
7.2.1 Principaux mécanismes des risques pour les caves dans les carrières.....	107
7.2.2 Les ruptures locales des toits et ciels .....	108
7.2.3 Les ruptures locales des piliers.....	109
<b>7.3 CAVES CONSTRUITES EN MACONNERIE EN MILIEU RURAL ET URBAIN .....</b>	<b>P.110</b>
7.3.1 Les ruptures locales des voûtes et organes porteurs horizontaux .....	110
7.3.2 Les ruptures locales des organes porteurs verticaux.....	111
7.3.3 L'érosion mécanique des piliers et piédroits due au passage des chargeurs : une problématique récurrente .....	112
<b>7.4. LES CAVES CONSTRUITES EN BÉTON ARMÉ.....</b>	<b>P.113</b>
7.4.1 Les moyens de traitement .....	114
7.4.2 Exemple de méthode passive.....	114
7.4.3 Exemple de méthode active .....	115
<b>7.5. ALTÉRATIONS BIOLOGIQUES DANS LES CAVES .....</b>	<b>P.116</b>
7.5.1 Les champignons lignivores : la mэрule, le coniochore.....	116
7.5.2 Le champignon mэрule .....	117
7.5.3 Facteurs de développement de la mэрule .....	118
FICHE 7.5.4 Compréhension des causes majeures et méthodologie de résorption.....	119
7.5.5 Les algues, mousses et fougères.....	120
7.5.6 Facteurs de développement .....	120
FICHE 7.5.7 Nettoyage et traitement des altérations biologiques dues aux algues .....	121
FICHE 7.5.8 Traitement avec un badigeon de chaux aérienne.....	122
<b>7.6. UN FACTEUR AGRAVANT : L'EAU .....</b>	<b>P.124</b>
7.6.1 Origines des venues d'eau naturelle et données de base sur l'hydraulique souterraine ...	124
7.6.2 Situation hydrogéologique des caves et venues d'eau naturelle.....	125
7.6.3 Influence des variations du niveau de la nappe sur la stabilité des caves.....	126
7.6.4 Fuites des réseaux .....	128
7.6.5 Les caves inondées.....	128
<b>8. LA CONSERVATION : ENTRE ESTHÉTIQUE ET VALORISATION.....</b>	<b>P.130</b>
<b>8.1. L'esthétique .....</b>	<b>P.130</b>
8.1.1 L'esthétique et la dissimulation des confortations et des réseaux .....	130
8.1.2 Esthétique des confortations en béton .....	130
8.1.3 Esthétique des réseaux .....	131
8.1.4 Le dimensionnement des ouvrages.....	132
8.1.5 Matériaux .....	132
8.1.6 L'éclairage.....	132

<b>8.2 EXEMPLES DE VALORISATIONS .....</b>	<b>P.136</b>
8.2.1 Réhabilitation de locaux souterrains militaires.....	136
8.2.2 Patrimoine géologique .....	137
8.2.3 Œnothèques, boutiques permanentes ou éphémères : .....	138
8.2.4 les graffiti et sculptures : .....	139

**PRINCIPES RÉGLEMENTAIRES DE SÉCURITÉ DANS LES CAVES  
POUR L'ACCUEIL DU PUBLIC..... P.140**

**CONCLUSIONS LES DIX COMMANDEMENTS DU VIGNERON  
ET DU CHEF DE CAVE..... P.141**

**INDEX LEXICAL : CHAPITRES/NUMÉROS D'ARTICLES..... P.142**



### Origine des fonds et crédits photographiques / Abréviations :

**MG:** Michel Guillard - **PHT:** Philippe Tourtebatte – **MJ:** Michel Jolyot - **ADM:** Archives Départementales de la Marne  
- **UMC:** Union des Maisons de Champagne ;

**AMR:** Archives Municipales de Reims (Grand Reims - Reims Métropole) - **SIRGE:** Service de l'Inventaire Région Grand Est ;  
**BNF:** Bibliothèque Nationale de France - **BRGM:** Bureau de Recherche Géologiques et Minières - **ADA:** Archives départementales de l'Aube ;

### Origine des fonds (ADM, AMR, ADA) :

**FI:** Fonds Iconographiques - **CN:** Cadastre Napoléonien - **CP:** Cartes et Plans.

MEMBRES FONDATEURS

GRAND MÉCÈNE





**Étude réalisée par Philippe Tourtebatte**

Expert et ingénieur conseil, spécialiste des caves de Champagne  
philippe.tourtebatte@wanadoo.fr

**Mission Coteaux, Maisons et Caves de Champagne - Patrimoine mondial**

C/O, Agence d'Urbanisme de Reims  
Place des Droits de l'Homme CS 90 000 - 51084 Reims Cedex  
www.champagne-patrimoinemondial.org  
contact@champagne-patrimoinemondial.org

**Maquettage :**

©Paul Roset

**Couverture :**

©Champagne Création, ©Margaux Henrion

*Edition 2020*