



Plan de Prévention des Risques Mouvements de Terrain liés aux cavités souterraines

PPR MT Achicourt Arras Beaurains



Note de présentation Version approuvée



TABLE DES MATIÈRES

TITRE I PRÉAMBULE.....	3
I.1 Cadre légal.....	4
I.2 Pourquoi un PPR MT.....	4
I.3 Rappel sur la notion de risque.....	5
I.4 Objectifs du PPRMT.....	5
I.5 Procédure d'élaboration du PPRMT.....	6
I.6 La concertation.....	7
I.7 Contenu du PPR MT.....	8
I.8 Valeur juridique du PPR MT.....	9
TITRE II PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE.....	10
II.1 Localisation.....	11
II.2 Morphologie.....	13
II.3 Description géologique.....	14
II.4 Description hydrologique et hydrogéologique.....	16
II.5 Les Facteurs naturels déterminants de la présence potentielle de cavités souterraines.....	18
II.6 L'origine des cavités souterraines.....	19
II.7 Les Typologies des cavités rencontrées.....	22
TITRE III DÉSORDRES POSSIBLES EN SOUTERRAIN ET RECENSEMENT.....	34
III.1 Les facteurs de désordres.....	35
III.2 Les Types de désordres.....	37
III.3 Le Recensement des cavités sur le territoire.....	42
TITRE IV LES ALÉAS.....	56
IV.1 Méthode d'évaluation de l'aléa.....	57
IV.2 Critères de classification.....	60
IV.3 Cartographie de l'aléa.....	73
TITRE V LES ENJEUX.....	81
V.1 Identification des différents enjeux.....	82
V.2 Identification des enjeux exposés.....	84
TITRE VI LE ZONAGE RÉGLEMENTAIRE.....	87
VI.1 Élaboration du plan de zonage.....	89
VI.2 Nature des mesures de prévention et de protection.....	90

TITRE I PRÉAMBULE

I.1 CADRE LÉGAL

Les Plans de Prévention des Risques Naturels (PPRN) concernent des phénomènes naturels dont les effets prévisibles relèvent d'une catastrophe naturelle définie à l'article 1 de la loi du 13 juillet 1982 relative à l'indemnisation des victimes de catastrophe naturelle.

Ces documents ont été institués par la loi n° 87-565 du 22 juillet 1987 modifiée par la loi n°95-101 du 2 février 1995 relative à l'organisation de la sécurité civile, à la protection de la forêt contre l'incendie et la prévention des risques majeurs et la loi du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages, lois reprises aux articles L.562-1 à L.562-9 du Code de l'environnement, ont pour objet (article 40.1) :

1. de délimiter les zones exposées aux risques en tenant compte de la nature et de l'intensité des phénomènes et des dommages encourus. Dans ces zones peut y être interdit tout type de construction, d'ouvrage, d'aménagement ou d'exploitation agricole, forestière, artisanale, commerciale ou industrielle ou autorisé sous réserve du respect de prescriptions définissant les conditions dans lesquelles celui-ci doit être réalisé, utilisé ou exploité ,
2. de délimiter les zones qui ne sont pas directement exposées aux risques mais où des constructions, des ouvrages, des aménagements ou des exploitations agricoles, forestières, artisanales, commerciales ou industrielles pourraient aggraver des risques ou en provoquer de nouveaux et y prévoir des mesures d'interdiction ou des prescriptions ,
3. de définir les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde qui doivent être prises, dans les zones mentionnées aux paragraphes 1 et 2, par les collectivités publiques dans le cadre de leurs compétences, ainsi que celles qui peuvent incomber aux particuliers ,
4. de définir, dans les zones mentionnées aux paragraphes 1 et 2, les mesures relatives à l'aménagement, l'utilisation ou l'exploitation des constructions, des ouvrages, des espaces mis en culture ou plantés existants à la date de l'approbation du présent plan qui doivent être prises par les propriétaires, exploitants ou utilisateurs.

Le contenu des PPRN et les dispositions de mise en œuvre de ceux-ci sont fixés par le décret n°95-1089 du 5 octobre 1995, relatif au PPRN prévisibles, modifié par le décret n°2005-3 du 4 janvier 2005.

I.2 POURQUOI UN PPR MT

Le département du Pas-de-Calais est fortement impacté par le risque mouvement de terrain lié aux cavités souterraines d'origine naturelle ou issue de l'activité humaine (exploitations de craie, villages souterrains, sapes de guerre, etc.).

Le territoire de la Communauté Urbaine d'Arras (CUA), et plus particulièrement les communes d'Achicourt, Arras et Beaurains, très urbanisées, présentent une densité de cavités anthropiques importantes.

Régulièrement, des désordres de types effondrements et affaissements ont été constatés dans des secteurs où aucune cavité n'avait été recensée antérieurement et deux nouvelles carrières ont été découvertes en 2015, impactant plusieurs projets.

Dans ce contexte, un Plan de Prévention des Risques Naturels « mouvements de terrains liés aux cavités souterraines » (PPR MT) a été prescrit le 03 juin 2016 et un inventaire a été réalisé entre septembre 2017 et avril 2018, puis, mis à jour en avril 2021 sur les communes d'Achicourt, Arras et Beaurains.

I.3 RAPPEL SUR LA NOTION DE RISQUE

Le risque est la conjonction d'un aléa avec un enjeu.

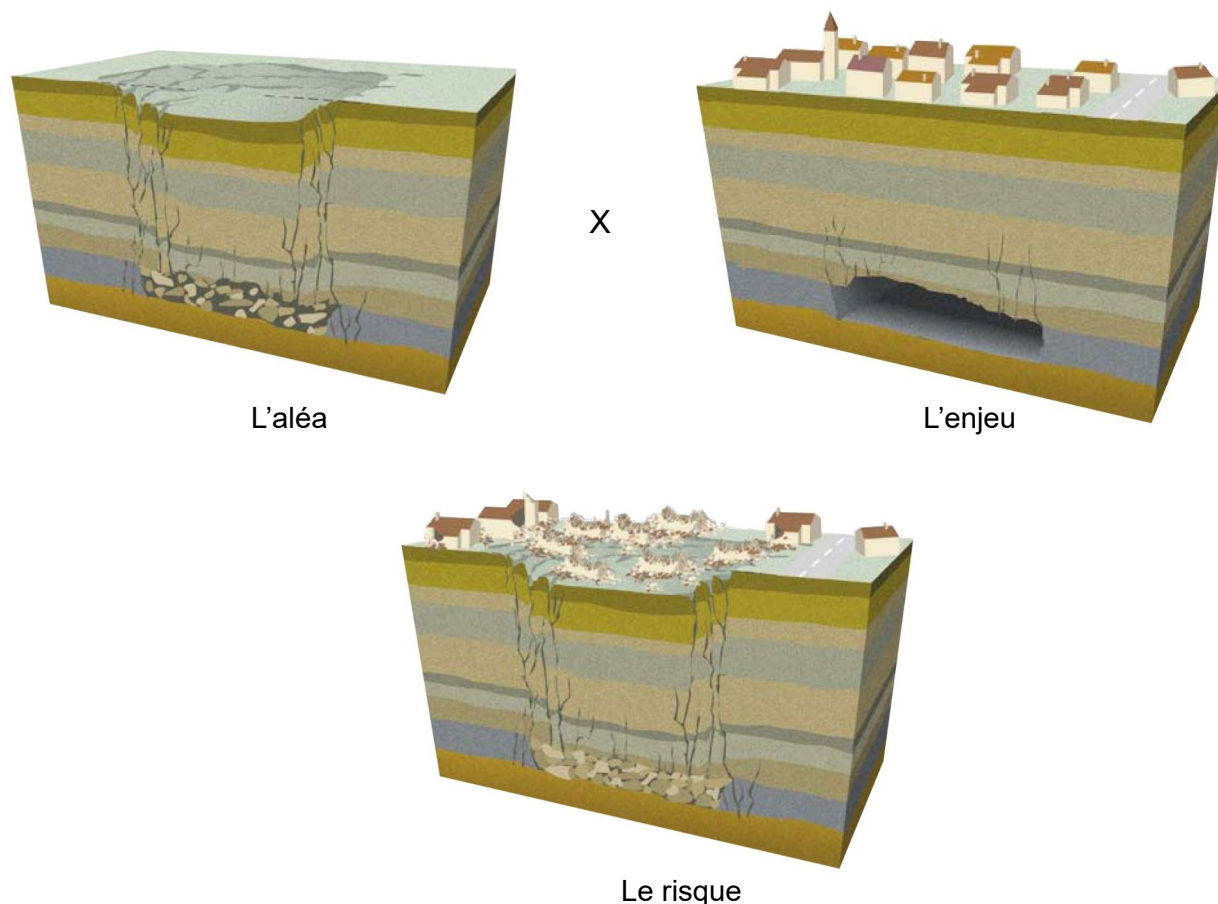


Figure I.1: schéma aléas x enjeux = risque

I.4 OBJECTIFS DU PPRMT

L'élaboration du Plan de Prévention des Risques Mouvements de Terrain (PPRMT) liés aux cavités souterraines est essentielle dans les territoires pour lesquels le risque est avéré ou pour lesquels il existe des enjeux importants.

Sur les communes d'Achicourt, Arras et Beaurains, l'importance des enjeux et le nombre important de cavités nécessitent la mise en place d'une réglementation de l'urbanisation du territoire, afin de mieux prendre en compte le risque dans les décisions et projets d'aménagement et de diminuer la vulnérabilité des personnes et des biens exposés à ce risque.

Les objectifs de ce PPRMT sont de :

- délimiter et hiérarchiser les zones directement et indirectement exposées au risque ,
- établir des prescriptions, interdictions et recommandations relevant des règles d'urbanisme, de construction et d'utilisation des projets ,
- définir des mesures sur les biens et activités existantes visant à réduire leur vulnérabilité ,
- prescrire des mesures générales de prévention, de protection et de sauvegarde.

À cette fin, l'élaboration de ce PPRMT s'est appuyée sur 4 étapes visant à :

- **recenser les cavités souterraines :**

Il s'est agi d'identifier la présence de cavités souterraines par diverses sources :

- exploitation des archives civiles et militaires,
- exploitation de la bibliographie,
- identification des indices de surface,
- enquête auprès des collectivités, des services publics et de la population,
- etc.

- **évaluer et caractériser l'aléa mouvement de terrain liés aux cavités souterraines :**

L'objectif a été de délimiter et hiérarchiser, en plusieurs niveaux, les zones exposées ou potentiellement exposées à des phénomènes en fonction de leur intensité et leur probabilité d'occurrence prévisibles. L'évaluation des aléas transcrita, de manière objective, le potentiel de risque ou de nuisances que les cavités sont susceptibles d'engendrer, à terme, sur ces trois communes ,

- **caractériser et évaluer les enjeux :**

Le but a été de recenser, en collaboration avec les collectivités territoriales, l'ensemble des enjeux existants au sein des territoires soumis à un ou plusieurs aléas et d'identifier les projets qui pourraient s'y développer, puis, d'évaluer la vulnérabilité de ces enjeux ,

- **élaborer les documents réglementaires du PPRMT :**

- le zonage réglementaire qui délimite les zones homogènes en termes de risque et y définira une réglementation spécifique (prescriptions, interdictions, recommandations) ,
- le règlement qui définit de façon claire et opérationnelle les dispositions qui s'appliqueront aux projets nouveaux et aux biens et activités existants. Des mesures de prévention, protection et sauvegarde compléteront ces dispositions ,
- la note de présentation qui explique et justifie de façon précise et pédagogique les mesures réglementaires mises en place ,
- le bilan de concertation qui reprend les différents compte-rendus des différentes réunions.

I.5 PROCÉDURE D'ÉLABORATION DU PPRMT

L'élaboration du PPRMT est encadrée par les articles L562-1 à L562-9 et R562-1 à R562-11 du Code de l'environnement qui prévoient :

- la prescription de l'établissement d'un PPRN ou de sa révision par un arrêté préfectoral qui détermine le périmètre mis à l'étude et désigne le service déconcentré de l'État chargé d'élaborer le projet ,
- l'établissement du projet par les services de l'État ,
- la consultation de la chambre d'agriculture et du centre régional de la propriété forestière ,
- la consultation des conseils municipaux et des EPCI ,
- l'enquête publique ,
- l'approbation par arrêté préfectoral qui érige le PPRN en servitude d'utilité publique ,
- l'annexion du PPRN au Plan d'Occupation des Sols (POS), au Plan Local d'Urbanisme (PLU) ou tout autre document d'urbanisme.

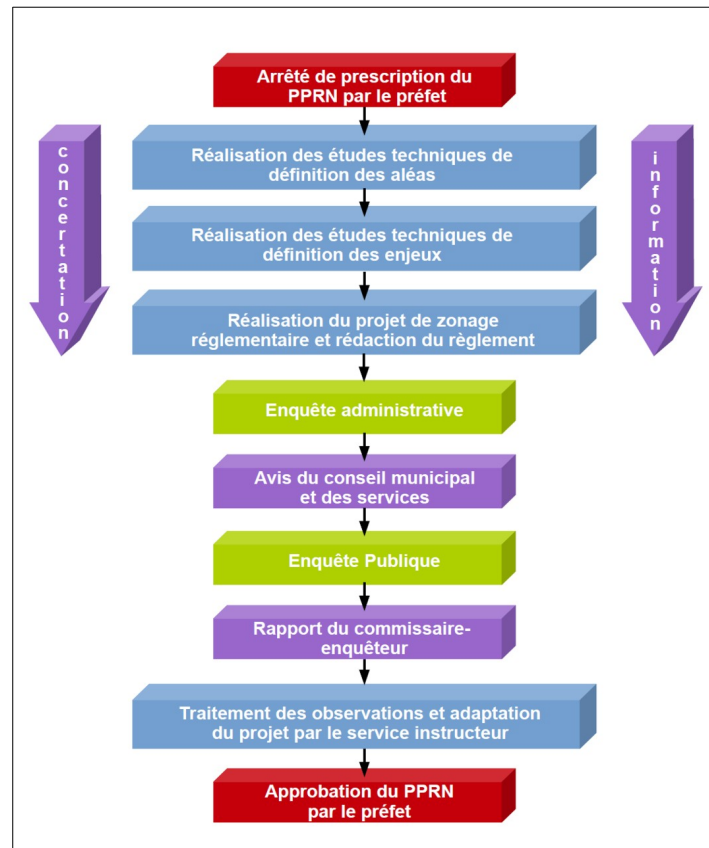


Figure 1.2 : synoptique de la procédure d'élaboration d'un Plan de Prévention des risques

Le PPRMT approuvé vaut servitude d'utilité publique au titre de l'article L.562-4 du Code de l'environnement. Il doit donc être annexé au PLU conformément à l'article L.153-60 du Code de l'urbanisme. À ce titre, cette servitude est notifiée par le préfet au président de l'établissement public compétent ou au maire. Ceux-ci les annexent sans délai par arrêté au plan local d'urbanisme. A défaut, le préfet est tenu de mettre le président de l'établissement public compétent ou le maire en demeure d'annexer au plan local d'urbanisme les servitudes mentionnées au premier alinéa. Si cette formalité n'a pas été effectuée dans le délai de trois mois, l'autorité administrative compétente de l'État y procède d'office.

Il est ensuite souhaitable que les dispositions du PLU soient mises en compatibilité avec le PPRMT lorsque ces documents divergent pour rendre cohérentes les règles d'occupation du sol.

I.6 LA CONCERTATION

Le PPR MT est le fruit d'une étroite concertation avec les communes concernées.

Le dossier de PPR MT comprend un document intitulé « bilan de la concertation » qui vise à détailler les objectifs, l'organisation et le déroulement de cette concertation tout au long de la procédure d'élaboration.

I.7 CONTENU DU PPR MT

I.7.1 Documents obligatoires

Le contenu d'un Plan de Prévention des Risques Naturels est précisé par l'article R562-3 du Code de l'environnement.

« Le dossier de projet de plan comprend :

1° Une note de présentation indiquant le secteur géographique concerné, la nature des phénomènes naturels pris en compte et leurs conséquences possibles, compte tenu de l'état des connaissances [...],

2° Un ou plusieurs documents graphiques délimitant les zones mentionnées aux 1° et 2° du II de l'article L.562-1 ,

3° Un règlement précisant, en tant que de besoin :

a) Les mesures d'interdiction et les prescriptions applicables dans chacune de ces zones en vertu des 1° et 2° du II de l'article L.562-1 ,

b) Les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde mentionnées au 3° du II de l'article L.562-1 et les mesures relatives à l'aménagement, l'utilisation ou l'exploitation des constructions, des ouvrages, des espaces mis en culture ou plantés existant à la date de l'approbation du plan, mentionnées au 4° de ce même

Le règlement mentionne, le cas échéant, celles de ces mesures dont la mise en œuvre est obligatoire et le délai fixé pour celle-ci.».

4° Le bilan de la concertation.

I.7.2 Documents facultatifs à valeur informative

Le PPRMT comprend d'autres documents qui ont pour vocation d'informer et de sensibiliser les acteurs locaux et la population. Ils ne sont pas directement opposables pour la gestion des actes d'urbanisme.

Ce sont les documents graphiques suivants :

- une cartographie informative des phénomènes,
- une cartographie des intensités,
- une cartographie de l'aléa « effondrement de cavités souterraines »,
- une cartographie de l'aléa « tranchées et ouvrages souterrains annexes »,
- une cartographie des enjeux PPRMT,
- un recueil de questions/réponses,
- une plaquette d'information.

I.8 VALEUR JURIDIQUE DU PPR MT

Conformément à l'article L.562-4 du code de l'Environnement, le PPR MT approuvé vaut servitude d'utilité publique et est annexé au PLU conformément à l'article L. 153-60 du code de l'urbanisme.

Il est opposable à tout mode d'occupation ou d'utilisation du sol et traduit, pour les communes, leur exposition aux risques tels qu'ils sont actuellement connus. Aussi, il peut faire l'objet de révision en cas d'éléments nouveaux le justifiant.

L'article R562-2 du Code de l'environnement fixe les modalités de mise en œuvre des PPRN.

« L'arrêté prescrivant l'établissement d'un plan de prévention des risques naturels prévisibles détermine le périmètre mis à l'étude et la nature des risques pris en compte. Il désigne le service déconcentré de l'État qui sera chargé d'instruire le projet.

Il mentionne si une évaluation environnementale est requise en application de l'article R.122-18. Lorsqu'elle est explicite, la décision de l'autorité de l'État compétente en matière d'environnement est annexée à l'arrêté.

Cet arrêté définit également les modalités de la concertation et de l'association des collectivités territoriales et des établissements publics de coopération intercommunale concernés, relatives à l'élaboration du projet. Il est notifié aux maires des communes ainsi qu'aux présidents des collectivités territoriales et des établissements publics de coopération intercommunale compétents pour l'élaboration des documents d'urbanisme dont le territoire est inclus, en tout ou partie, dans le périmètre du projet de plan.

Il est, en outre, affiché pendant un mois dans les mairies de ces communes et aux sièges de ces établissements publics et publié au recueil des actes administratifs de l'État dans le département. Mention de cet affichage est insérée dans un journal diffusé dans le département.

... »

Enfin, l'article R562-8 du Code de l'environnement définit les modalités de consultation du public :

« Le projet de plan est soumis par le préfet à une enquête publique dans les formes prévues par les articles R. 123-6 à R.123-23, sous réserve des dispositions des deux alinéas qui suivent.

Les avis recueillis en application des trois premiers alinéas de l'article R.562-7 sont consignés ou annexés aux registres d'enquête dans les conditions prévues par l'article R.123-13.

Les maires des communes sur le territoire desquelles le plan doit s'appliquer sont entendus par le commissaire enquêteur ou par la commission d'enquête une fois consigné ou annexé aux registres d'enquête l'avis des conseils municipaux. »

En cas de non-respect des prescriptions définies par le PPRMT, les modalités d'assurance des biens et personnes sont susceptibles d'être modifiées.

TITRE II PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

II.1 LOCALISATION

Achicourt, Arras et Beaurains sont des villes limitrophes comptant environ 56 000 habitants en 2023 et font partie de la CUA regroupant 46 communes.

Les deux villes d’Achicourt et de Beaurains constituent la banlieue sud d’Arras.

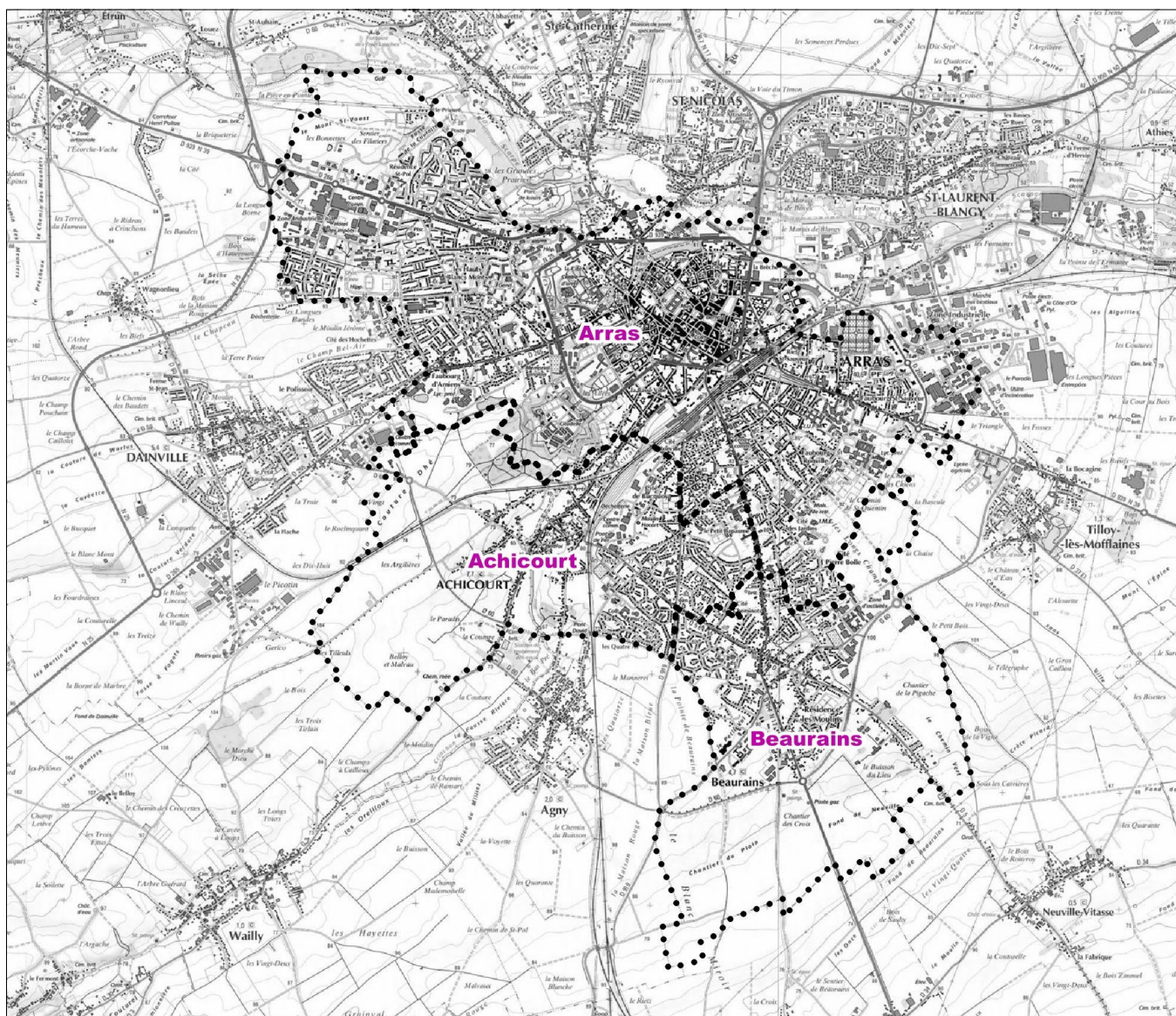


Figure II.1: Localisation des communes d’Achicourt, Arras et Beaurains. Source des données: IGN.

II.1.1 Achicourt

La commune d'Achicourt est située à 2 kilomètres au sud d'Arras dans la vallée du Crinchon, petit affluent de la Scarpe, rivière au cours sinueux.

Cette zone basse, humide et prairiale a longtemps été dédiée à la culture maraîchère.

Cet espace semi-naturel est intégré dans la trame verte et bleue locale (maillage de corridors biologiques) reliant les milieux naturels ou à renaturer de Wailly à Fampoux, dans la CUA. La Bassure joue notamment un rôle de « zone tampon » pour la trame bleue de l'Arrageois, le long de la Scarpe et du Crinchon (via l'ancien réseau de fossés de drainage creusés pour le maraîchage). Ce réseau se remplit en cas de crue, et contribue à écrêter, épurer et infiltrer l'eau, contribuant à la recharge des nappes souterraines.

Son altitude moyenne est d'environ 72 mètres et sa surface est d'environ 600 ha.

II.1.2 Arras

Arras se situe dans l'Artois, à environ 45 km de Lille, 100 km de Calais et 160 km de Paris. Préfecture du Pas-de-Calais, elle en est excentrée dans le sud-est.

Arras se situe également au carrefour des autoroutes A1 Paris-Lille et A26 Calais-Reims et est desservie par certains TGV reliant Paris à Lille.

Le territoire communal est au confluent du Crinchon et de la Scarpe, affluent de l'Escaut. La Scarpe passe au nord de la limite communale.

II.1.3 Beaurains

Au sud de l'agglomération arrageoise, la commune de Beaurains s'étend sur un vaste plateau d'environ 600 hectares à une altitude moyenne de 90 m.

D'importantes voies de communication : A1, A26, RN 17, CD60, TGV, etc. passent à proximité, ce qui lui confère une situation géographique privilégiée.

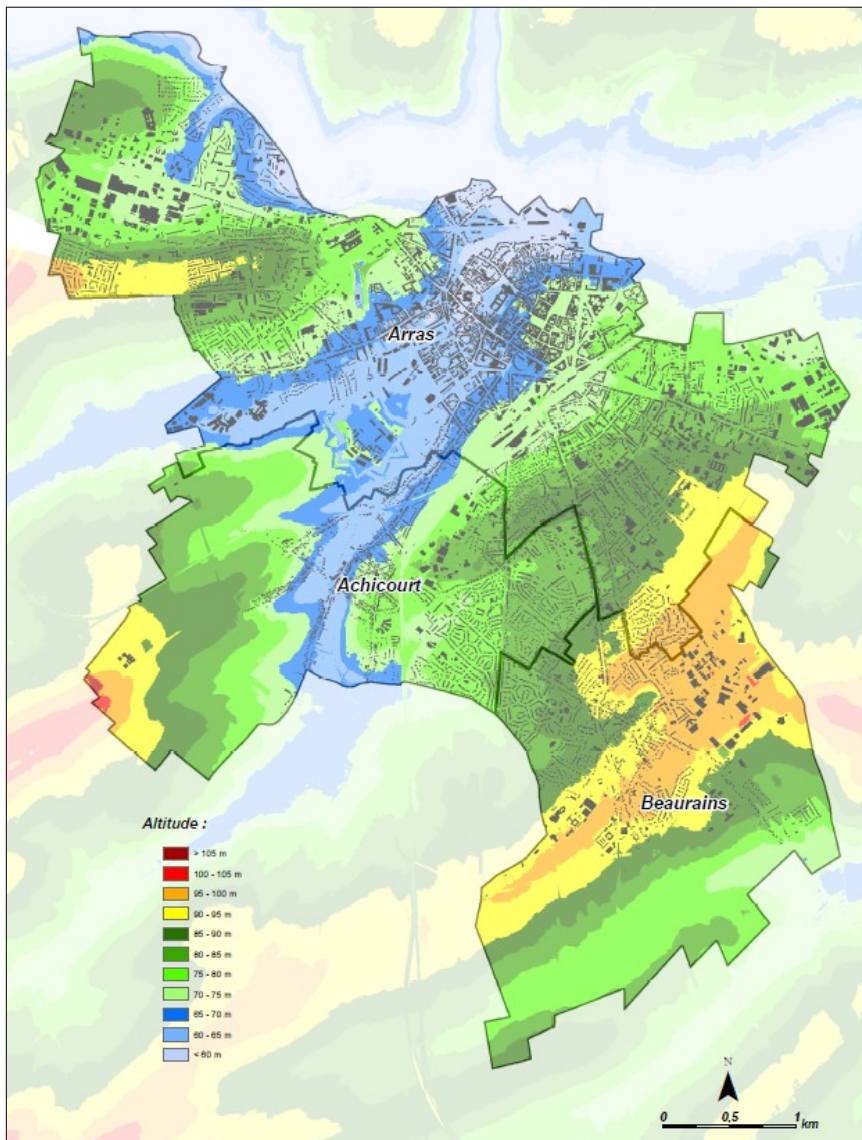
Malgré la présence du grand voisin Arras, Beaurains a largement conservé un caractère rural et une identité propre. On peut parler sans exagérer « d'une ville adossée à la campagne », ce qui joue un rôle capital dans la vie quotidienne et le bien-être des habitants.

II.2 MORPHOLOGIE

L'altitude de la zone d'étude s'établit entre 52 m NGF¹ au niveau de la Scarpe en limite communale d'Arras et de Saint-Laurent-Blangy et 95 m NGF à l'ouest de l'hippodrome et 99 m NGF aux Longs-Champs à Arras, 100 m NGF au carrefour de la RD60 et de la rue Tilloy sur la commune de Beaurains et 104 m NGF à l'extrémité sud-ouest d'Achicourt.

La vallée de la Scarpe constitue l'axe de drainage du secteur. Le Crinchon qui draine le sud-ouest de l'agglomération arrageoise s'y raccorde après avoir traversé le territoire d'Achicourt. Son cours a été très perturbé aux abords de la Citadelle (alimentation des douves) puis couvert lorsqu'il contourne le centre-ville. Il retrouve la surface à l'aval de la rue de l'Abbé-Pierre.

Au niveau de La Citadelle, un vallon sec vient se greffer au Crinchon. Il provient de Dainville où il prend le nom de « Couture-Verdure » et draine un bassin versant s'étendant jusqu'au-delà de Saulty.



Du fait de la présence de ces axes hydrauliques, le reste du territoire se présente sous forme d'un plateau faiblement vallonné marqué par trois épaulements principaux :

- la croupe des Haut-Blancs-Monts qui s'étire vers l'Ouest en direction de Wagonlieu ,
- la croupe qui sépare le Chinchon et La Couture-Verte ,
- la croupe de Beaurains qui s'étend selon un axe Nord-Est – Sud-Ouest.

Les collines (de Baudimont, de La Madeleine) alternent en pentes douces avec les bas quartiers (de Méaulens, de la basse ville du XVIIIe siècle). La citadelle, la basse-ville et la gare (à l'ouest) se situent à environ 75 mètres d'altitude. En limite nord-ouest, l'altitude remonte au niveau du Mont Saint-Vaast (supérieur à 85 mètres).

Figure II.2: Carte des altitudes

¹ NGF : Le Nivellement Général de la France détermine l'altitude officielle du territoire métropolitain. Le 0 est pris comme le niveau moyen de la mer mesuré au marégraphe de Marseille

II.3 DESCRIPTION GÉOLOGIQUE

La carte géologie présentée ci-après est tirée de la carte géologique au 1/50 000 vecteur harmonisé du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM).

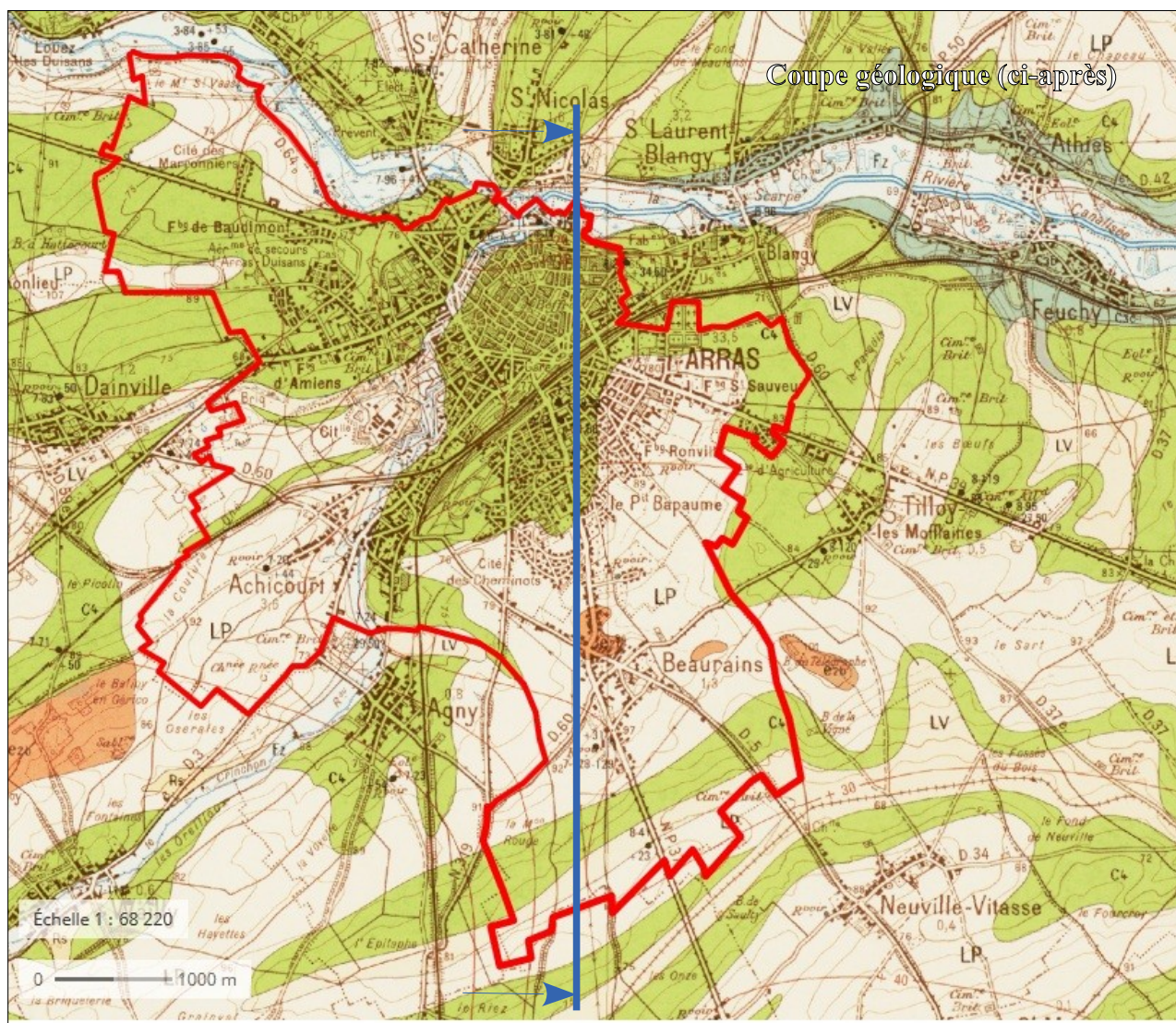


Figure II.3: Extrait de la carte géologique d'Arras au 1/50 000 (échelle non respectée).

Source des données : BRGM / IGN.

Sur le territoire des trois communes, on distingue :

- **les formations meubles de surface :**
 - les colluvions indifférenciées quaternaires (limons de fond de vallon et vallées sèches, limons de lavage, de pente et diverses, limon de plateau, altérites à silex, sables détritiques et les loess) qui n'ont pas fait l'objet d'aucune exploitation particulière,
 - les alluvions fluviales récentes (Holocène) qui renferment souvent un aquifère (nappe d'accompagnement des cours d'eau) et qui peuvent renfermer des réseaux d'assainissement anciens.

• **les formations rocheuses**

- les craies du Sénonien (c4) datant du crétacé supérieur (entre -99 et -65 millions d'années) sont sub-affleurantes sur une grande partie du territoire et notamment au niveau du centre historique d'Arras.

Deux niveaux principaux sont observables :

- une partie supérieure constituée de craie très blanche, très pure, fine, ne renferme pas de silex. Elle peut être exploitée en catiche, pour le marnage des champs et l'industrie chaufournière ,
- une partie inférieure, exploitée en chambres et piliers, mais également en catiche, pourvoit à une craie non altérée, riche en silex. Les bancs à la base de cette formation, plus gris ou jaunâtres et plus résistant (glaucioneux) ont été exploités comme pierre de taille.

- les marnes basales du Turonien moyen qui sont affleurantes au nord-est de la ville, dans le secteur de Feuchy.

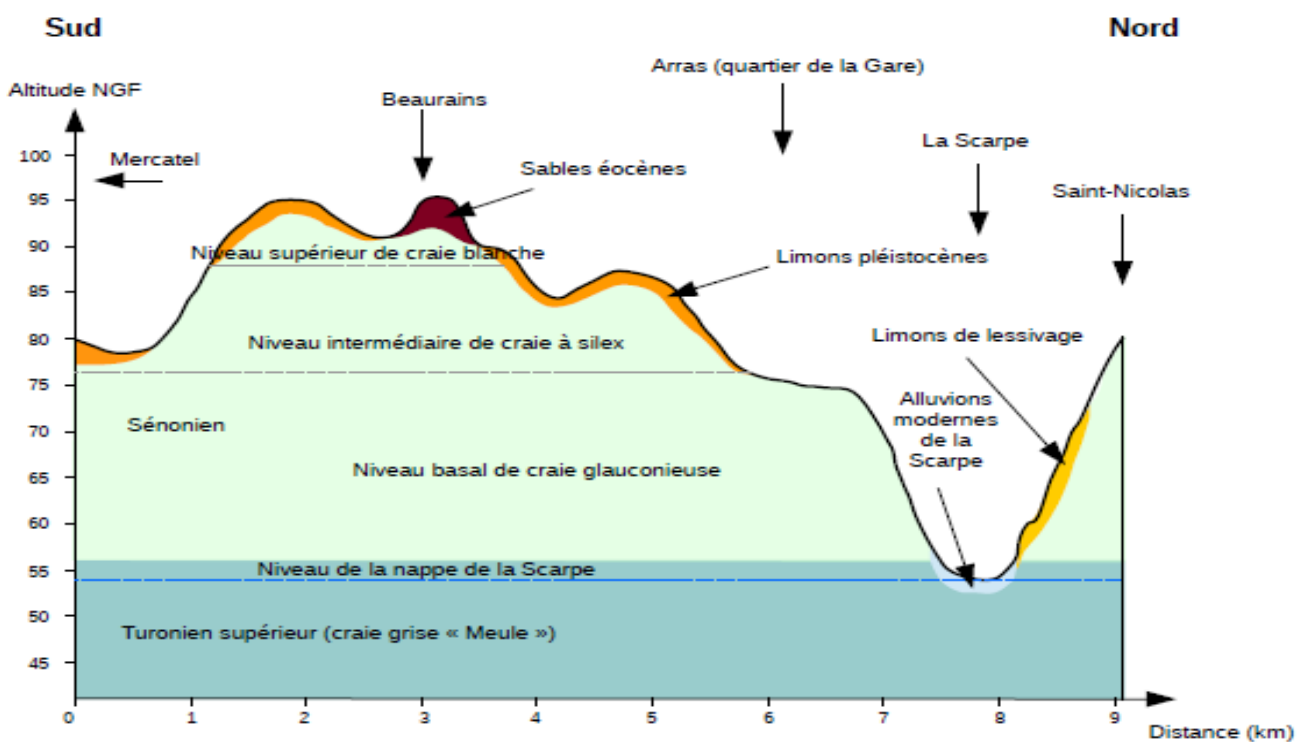


Figure II.4: Coupe géologique interprétative de la région

II.4 DESCRIPTION HYDROLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

Le climat est de type océanique tempéré dans ce département ayant une façade maritime située à environ 100 km d'Arras. Du fait de cette distance, le climat local est légèrement plus continental que celui de la côte. Les amplitudes thermiques sont modérées et les hivers sont doux avec un temps relativement variable. Les précipitations sont d'environ 600 mm par an.

Deux cours d'eau sont présents dans la zone d'étude :

- au nord d'Arras, la Scarpe prend sa source à Berles-Monchel, à une vingtaine de kilomètres à l'ouest d'Arras ,
- dans le secteur d'Achicourt, le Crinchon qui alimente les fossés de la citadelle d'Arras et conflue avec la Scarpe.

À ce jour, aucun de ces deux cours d'eau ne semble avoir d'influence particulière sur les cavités connues (pas de cavité inondée connue ce qui laisse penser à une indépendance de la nappe de la craie et de la nappe d'accompagnement des cours d'eau). En effet, la hauteur de la nappe a semble-t-il conditionné la profondeur des exploitations, celles-ci se devant d'être hors d'eau afin de limiter les dommages aux cavités, les variations d'humidité pouvant dégrader les parois et piliers. Dans le rapport ANTEA de 1995, les sondages effectués dans le sud de la ville d'Arras montrent que la surface piézométrique de la nappe de la craie est très proche du sol des carrières (aux alentours de la cote 55m NGF), du moins pour celles qui sont peu éloignées de la vallée du Crinchon. Cette proximité de la nappe rend toutefois possible des ennoissements temporaires des travaux souterrains, ce qui constitue un élément défavorable à leur stabilité.

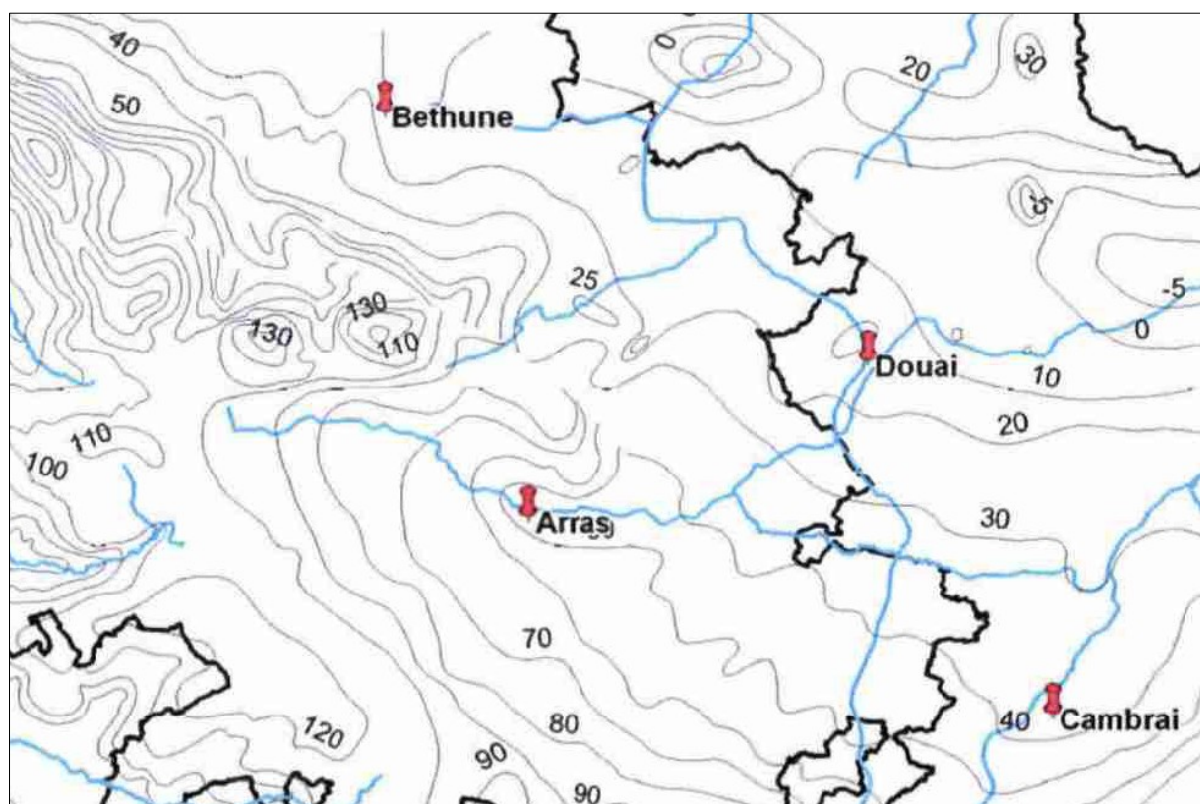


Figure II.5: Carte piézométrique du niveau bas de la nappe de la craie en 1997 (en m NGF) - source BRGM

On signalera qu'il existe sur le territoire, un grand nombre de puits destinés à l'exploitation de la nappe de la craie. L'information provient essentiellement du cadastre napoléonien qui les recensait et ils sont généralement distingués des puits permettant l'accès aux travaux souterrains (distinction entre « puits d'eau » et « puits secs »). Cette distinction ne semble toutefois ne pas être systématique et un doute subsiste quant à la fonction effective de ces puits.

La nappe de la craie est libre, c'est-à-dire qu'elle est conditionnée par les apports (principalement pluviaux) et la topographie. Sur les cartes piézométriques ci-dessus, on constate que le niveau de la nappe s'abaisse en direction de la Scarpe, car la rivière draine l'aquifère. Il s'établit à une cote comprise entre 55 m et 60-65 m NGF pour les plus hautes eaux sur la zone d'étude.

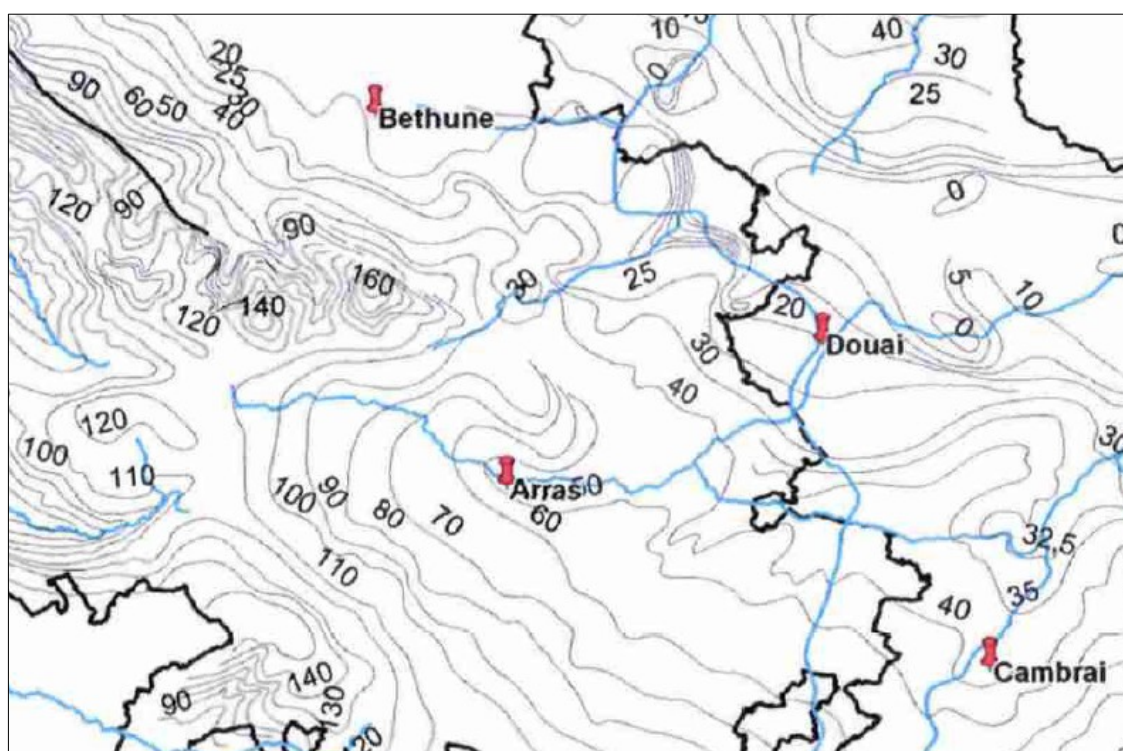


Figure II.6: Carte piézométrique du niveau des plus hautes eaux de la nappe de la craie en 1995 (en m NGF) - source BRGM

II.5 LES FACTEURS NATURELS DÉTERMINANTS DE LA PRÉSENCE POTENTIELLE DE CAVITÉS SOUTERRAINES

II.5.1 La nappe souterraine

Quelle que soit la fonction de l'excavation, la présence de la nappe est généralement un paramètre déterminant. Comme les cavités présentes sur le territoire d'Arras sont pour la plupart très anciennes, il n'existait pas, à l'époque, de système de pompage ou de ressuyage des travaux souterrains. En conséquence, il est peu probable qu'il existe des cavités au-dessous du niveau de la nappe de la craie.

Les formations alluviales renferment souvent un aquifère superficiel en relation avec les cours d'eau et alimenté par les précipitations. Cette nappe est généralement déconnectée de la nappe de la craie, même si elle peut participer à son alimentation. Compte tenu de la proximité de cette nappe, il existe peu d'indices de cavités dans les formations alluviales modernes du secteur.

II.5.2 La nature du sous-sol

Les cavités souterraines présentes sur le territoire avaient, en premier lieu, un intérêt économique :

Pour les cavités liées à l'exploitation de la craie, la nature minéralogique conditionne le mode d'exploitation :

- La craie blanche superficielle présente un intérêt pour les amendements calciques. Il s'agit donc ici plutôt d'une exploitation à des fins agricoles et donc locales. Le caractère altéré de cette formation en surface n'est pas un élément limitant. Pour son exploitation à des fins industrielles de production de chaux, la production devait rester artisanale, de faible extension et destinée à l'alimentation d'une production locale.
- La craie à silex et la craie glauconieuse ont été exploitées pour la pierre à bâtir. Lorsque la formation géologique est à l'affleurement, la couche supérieure peut présenter un niveau décalcifié et altéré plus ou moins épais qui nuit à la qualité mécanique de la roche. Les carrières ont généralement été obligés de traverser cette couche épaisse de quelques mètres pour atteindre la craie saine sous-jacente.

Cette exploitation a accompagné la croissance de la cité médiévale qui s'est développée sur la rive droite du Crinchon. Elle a nécessité une matière première qui a été recherchée en périphérie immédiate de l'implantation. Il est donc probable que les cavités identifiées aujourd'hui dans l'hyper-centre d'Arras correspondent à ces anciennes excavations.

La construction des remparts et plus tard des fortifications Vauban, de même que l'extension de la cité dans ce périmètre a probablement généré un fort besoin en matériaux. Ces derniers ont donc été exploités au-delà de l'enceinte des fortifications. Pour cette raison, les plus grandes exploitations connues se situent au sud de la gare, c'est-à-dire en avant des remparts. D'autres cavités dont l'emprise n'est pas actuellement connue ont été identifiées par sondage, notamment au sud-est des remparts et pourraient avoir la même origine. Toute la périphérie de la vieille ville fortifiée, sauf dans les zones contraintes par la nappe souterraine sont des zones potentiellement sous-cavées.

II.6 L'ORIGINE DES CAVITÉS SOUTERRAINES

La problématique des cavités souterraines de la région d'Arras est qu'elles sont à la fois craintes et méconnues :

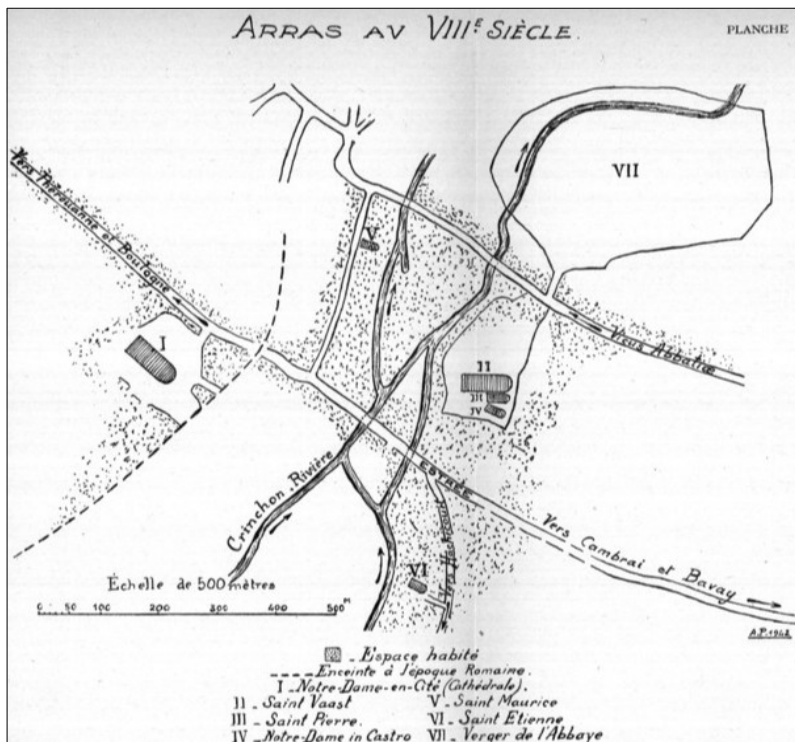
- craintes, parce que les habitants ont tous entendu parler de ces vides sous leurs pieds, des effondrements qui se produisent parfois ou des tassements qui affectent le bâti et la voirie, y compris dans des quartiers fortement peuplés ,
- méconnues, car force est de constater que la population ne connaît pas ou très partiellement l'étendue, le nombre et l'état de ces vides qui minent la région.

L'objectif de ce constat est donc aussi d'apporter la lumière sur la situation réelle de la connaissance des cavités souterraines à ce jour.

II.6.1 La construction de la Ville d'Arras

Au confluent des cours d'eau de la Scarpe et du Crinchon, la ville d'Arras est une vaste plaine fertile, fondée par les Romains sous le nom de Nemetacum.

L'histoire des cavités d'Arras est aussi vieille que la ville. Elle commence dès l'époque romaine, mais c'est surtout au Moyen Âge jusqu'au XVIII^e siècle que les gisements de craie se trouvant sous Arras ont été largement exploités afin de construire les bâtiments de la Ville.



Le développement des villes fortifiées comme celle d'Arras a demandé des pierres de construction de bonne qualité nécessitant la création de nouvelles carrières. Souvent creusées à la périphérie des villes, l'existence de cavités souterraines en zone urbaine s'explique par le développement urbain qui a souvent gagné les anciennes zones d'exploitation de craie.

En 1103, une muraille de pierre blanche y est édifiée (pierre extraite dans les sous-sols de la ville d'Arras), la coupant ainsi de l'ancienne cité romaine devenue cité épiscopale et berceau du pouvoir religieux (Abbaye Saint-Vaast). Vers 1340, Arras est dotée d'une nouvelle enceinte percée de cinq portes, tandis que les fortifications de l'agglomération sont modernisées.

Figure II.7: Arras au VIII^e siècle (source : *Étapes du développement urbain d'Arras -Lestocquoy - Revue belge de Philologie et d'Histoire Année 1944*)

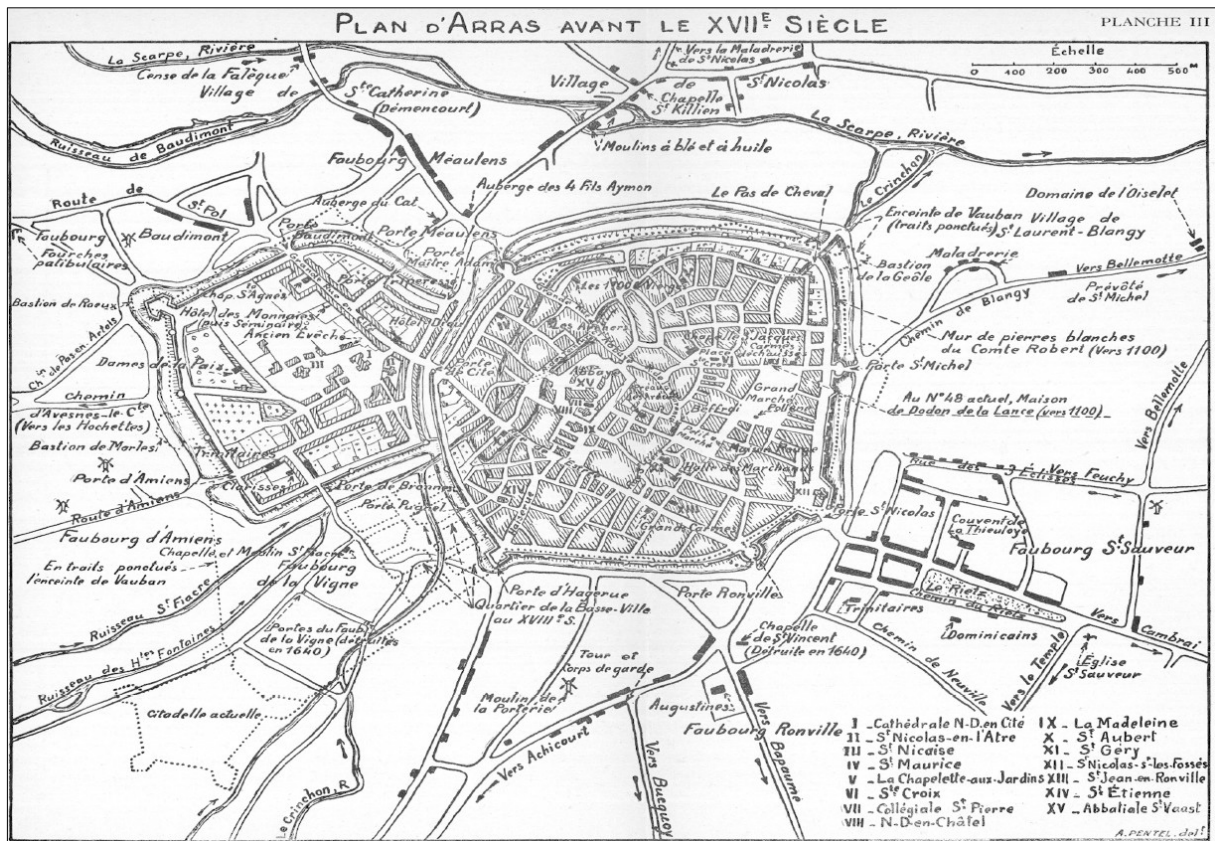


Figure II.8: Plan d'Arras avant le XVII^e siècle (source : Étapes du développement urbain d'Arras - Lestocquoy - Revue belge de Philologie et d'Histoire Année 1944)

La Guerre de Cent Ans (1337-1453) entraîna le renforcement des fortifications de la Ville et la construction de celles de la Cité qui décrivaient un grand arc de cercle et prenaient appui sur le Crinchon. Plusieurs carrières ont certainement été ouvertes en périphérie des remparts à cette époque pour alimenter le chantier.



Figure II.9: Carte de Cassini (entreprise en 1750 et terminée en 1815)

La construction de la citadelle entre les portes d'Amiens et d'Hagerue est décidée par Louis XIV. Construite entre 1668 et 1673, en partie sous la direction de Vauban, la citadelle adopte la forme d'un pentagone à cinq bastions. Les remparts de la ville sont renforcés en modifiant les ouvrages extérieurs des anciens remparts (contres-gardes, fossés, glacis, demi-lunes et redoutes). À cette occasion, un système de défense par contremines est bâti, mais son extension exacte n'est pas connue.

L'exploitation des carrières est tombée en désuétude au cours du XIX^e siècle. Leur souvenir a même parfois disparu, sauf chez les habitants d'Arras qui disposaient parfois d'un accès direct à ces carrières à partir des caves de leurs habitations.

Les remparts seront détruits entre 1891 et 1896.



Figure II.10: Carte d'État-Major (1820-1866)

II.6.2 La première guerre mondiale : la Bataille d'Arras

La bataille d'Arras oppose des troupes britanniques (anglaises, canadiennes, australiennes, néo-zélandaises et Terre-neuviennes) aux troupes allemandes, l'objectif étant de recréer une guerre de mouvement, visant également à faire une diversion de la bataille du Chemin des Dames en 1917.

La Première Guerre mondiale inflige des destructions considérables au patrimoine arrageois. En effet, la ville, située à moins de 10 km du front, était l'enjeu des coûteuses batailles d'Artois. Dès le début de la guerre, les soldats allemands font une première incursion dans Arras mais sont rapidement repoussés à l'extérieur de la ville. On creuse des tranchées dans les faubourgs de la ville.

La préparation de la bataille d'Arras est en grande partie novatrice : à partir de 1916, les Britanniques entreprennent de masquer la concentration des troupes en organisant un réseau de tunnels sous la ville, reliant entre elles les anciennes carrières de craies médiévales. Ils transforment les carrières de craie sous la ville pour qu'elles puissent accueillir les 24 000 soldats nécessaires au bon déroulement de la bataille d'Arras en avril 1917.

Après la guerre, la ville, ravagée aux trois quarts, est reconstruite presque à l'identique. Elle en profite pour s'étendre.

Aujourd'hui encore, tout le long de la ligne de front (ligne « Hindenburg » concernant cette étude), la Grande-Guerre a laissé pour héritage une présence potentielle de cavités. En effet, l'édification sur cette ligne d'un système constitué de zones fortifiées (bunkers) reliées entre elles par des cordons défensifs (tranchées de tir, tranchées de soutien, boyaux de communication et postes d'observation), s'étendant de la mer du Nord à Verdun, peut révéler des traces importantes marquées dans le sol, même un siècle après la fin de la Première Guerre mondiale.

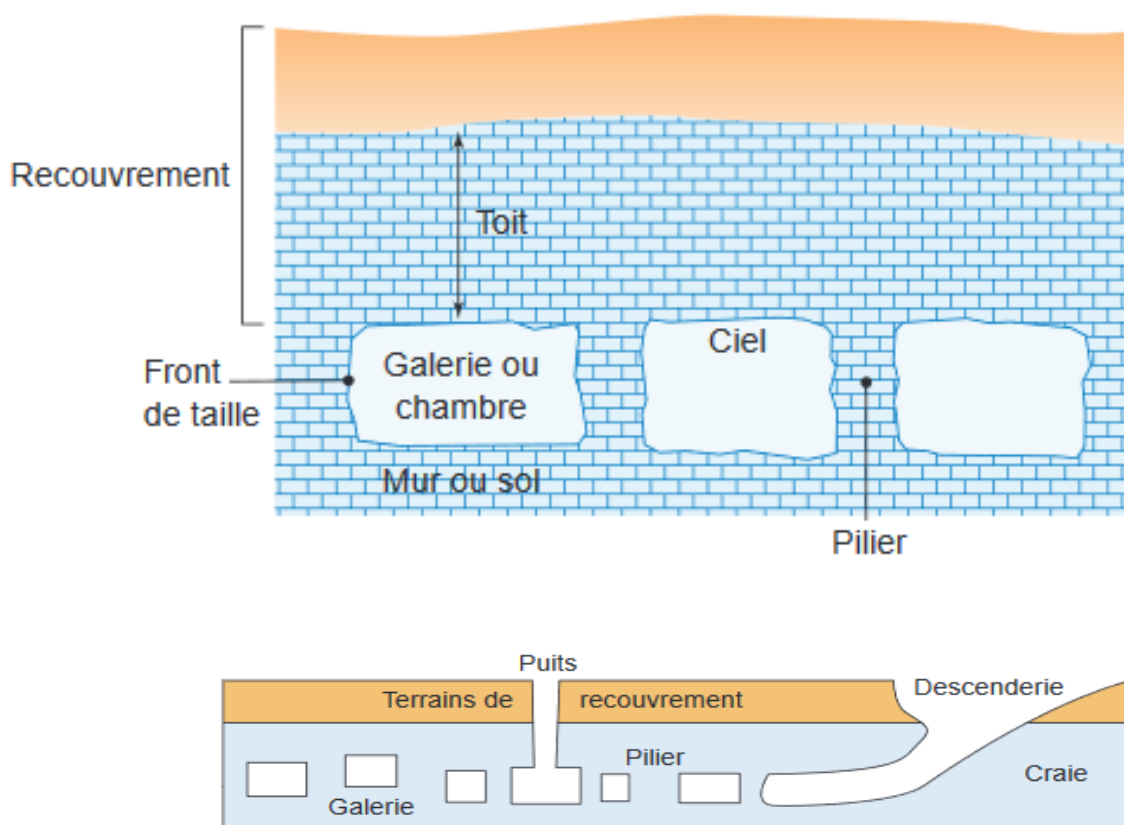
II.6.3 La Seconde Guerre mondiale

Arras subit à nouveau des destructions durant la Seconde Guerre mondiale, mais dans une moindre proportion par rapport à l'anéantissement de 1914-1918. Lors de la Seconde Guerre mondiale, les tunnels ont été rouverts pour servir d'abris antiaériens à destination de la population d'Arras. Cette époque n'a laissé que quelques traces (inscriptions, nouvelle électrification des galeries), minoritaires par rapport à celles datant de la Grande Guerre.

Malgré son rôle pendant les deux conflits et l'ampleur de ses ramifications sous la ville, le réseau souterrain n'est de nouveau qu'un vague souvenir pour la population.

II.7 LES TYPOLOGIES DES CAVITÉS RENCONTRÉES

II.7.1 Vocabulaire



Texte 1: Figure II.11: Schéma des termes fréquemment utilisés en carrière (Source : Ifsttar)

II.7.2 Les caves

Au cours des âges, les caves avaient plusieurs fonctions : habitations, stockages des provisions, ateliers, refuges (l'hypothèse des caves-refuges en temps de guerre trouve sa confirmation dans l'histoire d'une ville continuellement assiégée), abris pour les animaux domestiques (voir même des écuries).

Le terme de cave est rencontré dans un certain nombre de documents pour désigner à la fois des cavités, mais également des caves *stricto sensu*, c'est-à-dire un décaissement du terrain naturel sous le bâti et dont le plafond est constitué par un élément du bâti (dalle ou voûte).

Il est relativement courant que des documents fassent référence à des caves superposées, pour désigner des cavités se trouvant sous le niveau de cave du bâti. Le terme est également utilisé pour désigner dans certains cas des cavités de faible profondeur s'étendant à partir du niveau de cave sur des secteurs non bâtis (rue, jardin, etc.).

Dans la présente étude, le terme de cave n'est pas utilisé pour désigner ces cas particuliers, qui sont alors identifiés sous le terme de « bove ».

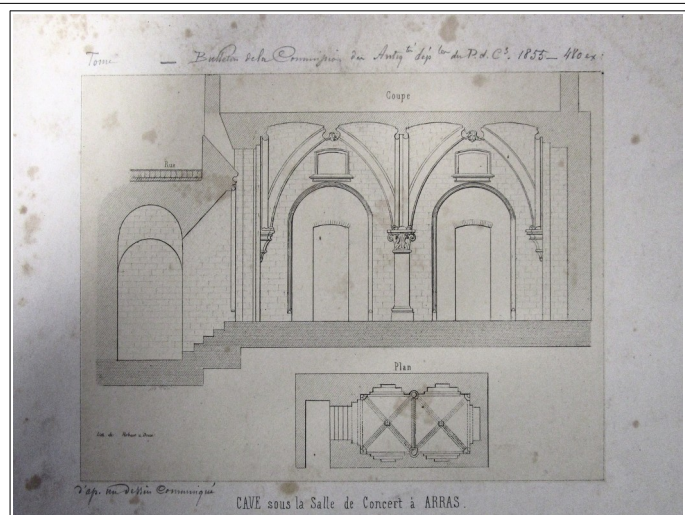
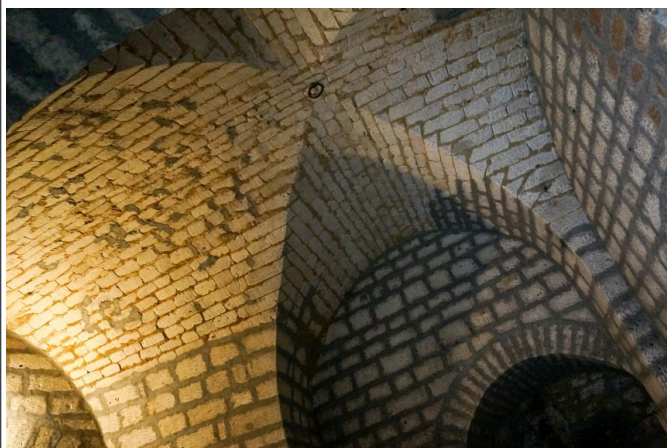


Figure II.11: Photographie de la voûte d'une cave d'Arras (source : intohistory.com)

Figure II.12: Exemple de cave taillée sous la salle de concert, rue Ernestale à Arras (ARR241)

Caractéristiques générales des caves

Épaisseur de recouvrement	Nul, le toit de la cave est constitué d'une voûte ou d'une dalle portant le plancher du bâti.
Hauteur de la cavité	Entre 1,5 (entresol) et 3 mètres
Dimension (largeur, longueur)	Variable, les caves font généralement la même superficie que le bâtiment.
Type d'accès	Par escalier, se trouvant généralement dans le bâti, mais pouvant également déboucher sur la voie publique.
Localisation	Zone urbaine

II.7.3 Les boves

Du celtique *bau*, caserne ou de l'espagnol *boveda*, lieu où sont remisés les bœufs.

Pour clarifier le terme « bove », viennent à notre aide quelques dictionnaires qui en précisent le sens, notamment le Larousse du XIXe siècle pour lequel la « bove » est « un nom donné en Picardie et en Artois aux excavations qui ont fourni la pierre de construction pour les villes ». Le dictionnaire de l'ancienne langue française ajoute que « *le mot bove dans les Provinces d'Artois et de Cambrésis, désigne une arrière-cave dans laquelle on tient le vin sous clé plus fraîchement que dans la première cave servant à contenir la bière* », la définition précise que « *dans la ville d'Arras, ce sont des caves profondes assez vastes, la plupart voûtées sans maçonnerie, mais soutenues par des piliers de pierre* ».

Leur origine est très ancienne. On y a trouvé des objets gallo-romains et des inscriptions d'origine antique. Elles n'ont bien sûr pas toutes été creusées à l'époque romaine, certains piliers datent des XIVe et XVe siècles. Des marques d'occupations datent de 1602.

Les boves d'Arras, importantes par leur ampleur et leur succession d'étages, s'enterrent profondément sous nombre de propriétés. Elles sont souvent associées à des caves.

D'une manière générale, les boves ont été construites *intramuros* et leur développement est limité, même si elles sont nombreuses. On peut en distinguer deux sous-types : les exploitations en chambres qui sont plutôt superficielles et les exploitations en galeries. Ces cavités peuvent rejoindre des niveaux de carrière qui s'enfoncent plus profondément dans la craie.

Les effondrements qui y surviennent ont lieu sur des parties faibles et sont, pour la plupart, des entrées d'origine, où le toit est peu épais et la roche de moindre qualité géomécanique. Le phénomène s'apparente alors à une rupture de tête de puits ou à un fontis.

On notera que la plupart des archives de la Ville d'Arras ont été dispersées suite à l'occupation de l'Hôtel de Ville par la Feldkommandantur en 1940 et que des plans de carrières abandonnées sous la ville d'Arras établis vers 1925-1930 par le service des mines ont disparu : ils ont été évacués à Caen au début de la guerre et détruits au cours des bombardements de cette dernière.

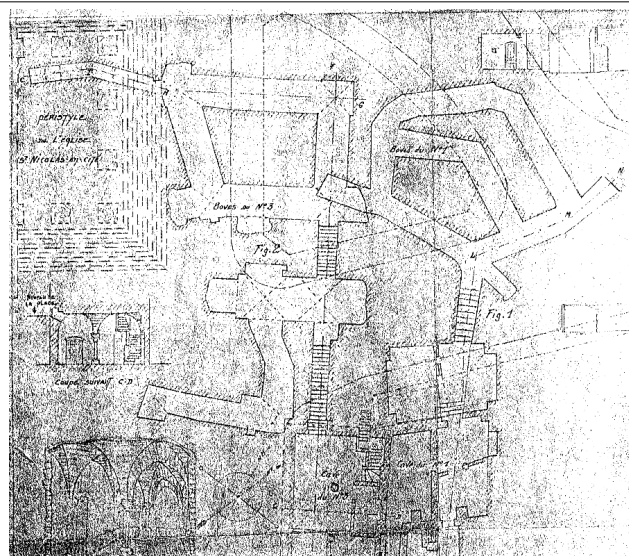


Figure II.13: Photographie d'une galerie de bove (source : arras.fr)

Figure II.14: Exemple de boves (salle et galerie) sous la place de la préfecture à Arras (ARR35).

Caractéristiques générales des caves

Épaisseur de recouvrement	Entre 1 m et une dizaine de mètres
Hauteur	Généralement entre 1,5 et 3 mètres
Dimension (largeur, longueur)	Variable, cavité en chambre pouvant aller jusqu'à 20 m ² et plus. Réseau de galerie pouvant s'étendre sur plusieurs dizaines de mètres (porté généralement faible, 2 à 3 m).
Type d'accès	Par escalier, se trouvant généralement dans le bâti, mais pouvant également déboucher sur la voie publique.
Localisation	Zone urbaine

II.7.4 Les catiches

Selon le guide méthodologique PPRN "Cavités souterraines abandonnées", le terme de catiche est une « appellation employée dans le nord de la France pour désigner une exploitation de craie en forme de bouteille ».

L'exploitation des documents de la bibliographie indique que quelques cavités de ce type sont présentes sur le secteur étudié. Dans les cas relevés, les catiches sont systématiquement reliées à un autre réseau souterrain, aucune catiche indépendante n'est connue.

L'exploitation en catiche consistait à creuser un puits à partir du sol, à travers les couches de couverture (limons, remblais, etc.) avant d'élargir le puits au niveau du substratum crayeux. Une fois l'exploitation terminée, l'entrée du puits est fermée par une voûte réalisée en moellons de craie puis recouverte de terre (voir figure II.15).

Les dimensions des catiches dépendent de la profondeur et de la qualité de la craie : entre 10 et 20 m de hauteur et de 3 à 10 m de largeur à leur base pour les catiches connues sur le secteur d'étude.

Lorsque les catiches sont en nombre conséquent et qu'elles sont proches, les unes des autres, les piliers qui prennent une forme en étoile, peuvent rompre ce qui entraîne un effondrement localisé en surface. De telles configurations n'ont pas été observées dans la zone d'étude, mais peuvent néanmoins se présenter.

Le principal point sensible de ces ouvrages est la rupture des voûtes maçonnées refermant le puits d'exploitation originel (développement racinaire, vibrations, travaux, etc.). (Cf. § III.2.2.3).

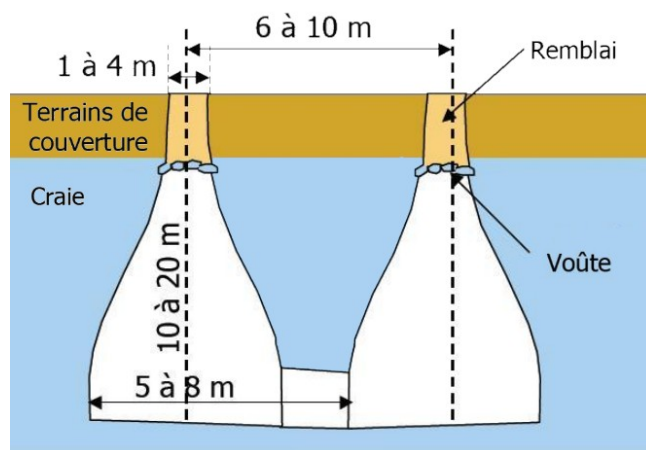
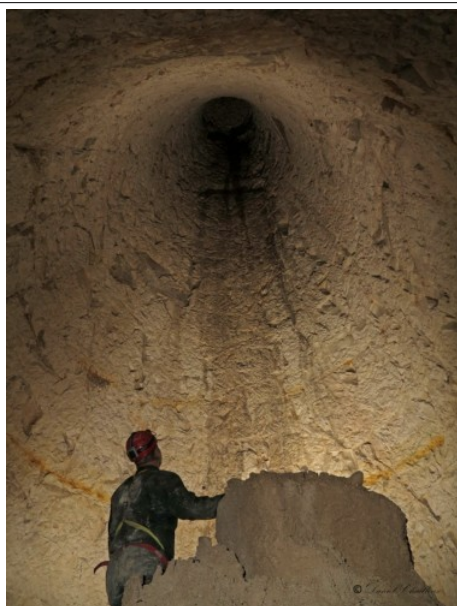


Figure II.15: Vue d'une catiche sur la commune d'Arras - extrait du document ARR204.
Crédit : Sémofi - Daniel Chailloux.

Figure II.16: Schéma d'exploitation en catiche (source: BRGM 2011, Dubois M., adapté)

Caractéristiques générales des catiches

Épaisseur de recouvrement	Quelques mètres
Nature du recouvrement	Remblai au niveau de la voûte, terrain naturel à l'aplomb du pourtour de la cavité
Hauteur	10 à 20 m entre le toit (voûte) et le plancher
Dimension (largeur, longueur)	3 à 10m de largeur à la base
Type d'accès	Puits en surface (1 à 4 m de diamètre) fermé par une voûte
Mode d'exploitation	Traditionnel (amendement calcique, production de chaux)
Localisation	Imprécise, zone urbaine et rurale
Mode de confortement envisageables	Comblement, création d'une dalle renforcée en surface

II.7.5 Les carrières souterraines en chambres et piliers

L'exploitation par chambres et piliers abandonnés constitue une des premières techniques utilisées, notamment pour l'extraction de moellons et de pierres de taille. Des descenderies (plan incliné) ou des puits verticaux sont creusés (de 8 à 30 m de profondeur selon la géologie locale et la présence de la nappe) puis un réseau limité de galeries est poussé de part et d'autre de ce puits de manière à laisser en place des piliers destinés à soutenir les terrains sus-jacents. Le matériau était ensuite taillé, trié puis remonté par ce puits et les déchets étaient abandonnés au fond, formant un remblai plus ou moins épais dans les galeries.

Les puits sont creusés de loin en loin afin de rejoindre les travaux et dans le but d'étendre le champ d'exploitation. À la fin de l'exploitation, les puits et les descenderies sont généralement remblayés depuis la surface pour retrouver une topographie plane.

La construction des fortifications de la ville d'Arras a probablement nécessité de grosses quantités de matériaux et il est probable que des carrières souterraines existantes aient été remises en exploitation et que de nouvelles fouilles aient été ouvertes à cette occasion-là. Nous disposons de peu d'éléments historiques de cette époque et ces carrières souterraines ont souvent été oubliées par la population.

Ces vides sont parfois retrouvés à la faveur de sondages géotechniques préalables à l'installation de projet de constructions.

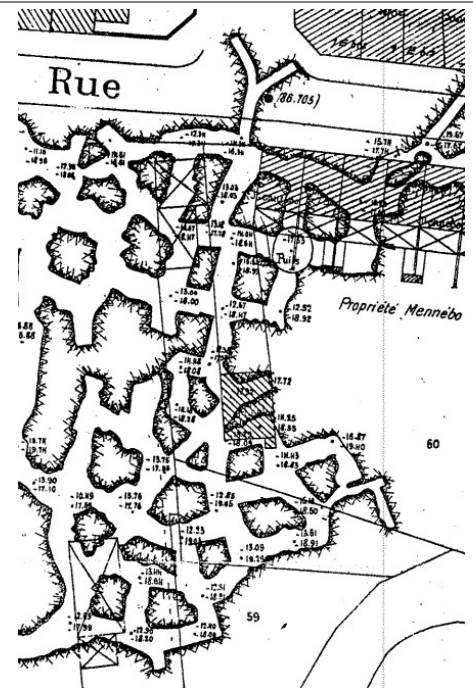


Figure II.17: Vue de la carrière Wellington sur la commune d'Arras. (source : arras.fr)

Figure II.18: Plan ancien d'une carrière en chambres et piliers à Arras (cavité Wellington, XXX59).

Caractéristiques générales des carrières souterraines en chambres et piliers

Épaisseur de recouvrement	En dizaine de mètres, entre 7 et 25 m suivant la profondeur de la nappe
Nature du recouvrement	Remblai, limon, craie
Hauteur	Généralement entre 1,5 et 3 m, pouvant atteindre des hauteurs plus importantes dans certaines salles (dizaine de mètres)
Dimension (largeur, longueur)	Variables, les portées sont généralement de 2 à 4 m, plus exceptionnellement elles peuvent aller jusqu'à 6 à 7 m
Type d'accès	Puits en surface, descenderies, escaliers à partir du réseau de boves
Mode d'exploitation	Pierre de construction
Localisation	Plutôt dans les anciennes zones rurales, en centre urbain, présence de galeries d'exploitation sous le réseau de boves
Mode de confortement envisageables	Comblement, pilier de confortement, renforcement du toit

II.7.6 Les fortifications de la ville

Il semble que plusieurs types de cavités soient associés à la défense de la ville et à ses remparts. La documentation retrouvée à ce sujet est peu abondante.

La présence d'ouvrage de contre-mine (galeries creusées à l'avant des fortifications afin d'éviter le minage souterrain par l'assaillant) est évoquée dans certains documents, notamment au niveau la grande Corne de Guiche en 1654 (aujourd'hui disparue). On connaît des galeries qui se situent au niveau de la fortification de la ville (porte d'Amiens et Porte Baudimont), leur tracé est assez particulier (triangulaire) et se situent plutôt à l'intérieur de l'enveloppe des remparts repérés sur la carte d'État-major de 1826. Il pourrait s'agir d'anciennes galeries de contre-mine, antérieures au renforcement du réseau par Vauban (à partir de 1671), mais aucun plan ou écrit ne détaille ce réseau.

Par ailleurs, ces deux cavités ont été réaménagées entre les deux conflits mondiaux comme souterrains refuges. Au niveau de la citadelle, un réseau de faible ampleur a également été mis en évidence.

Aujourd'hui, de nombreux sondages traversent des vides dans les secteurs de démantèlement des fortifications. Il peut s'agir de vide lié au colmatage des fossés avec des matériaux hétérogènes, mais également de vide lié à la présence de cavité (galerie de contre-mine ou de cheminement, carrières).

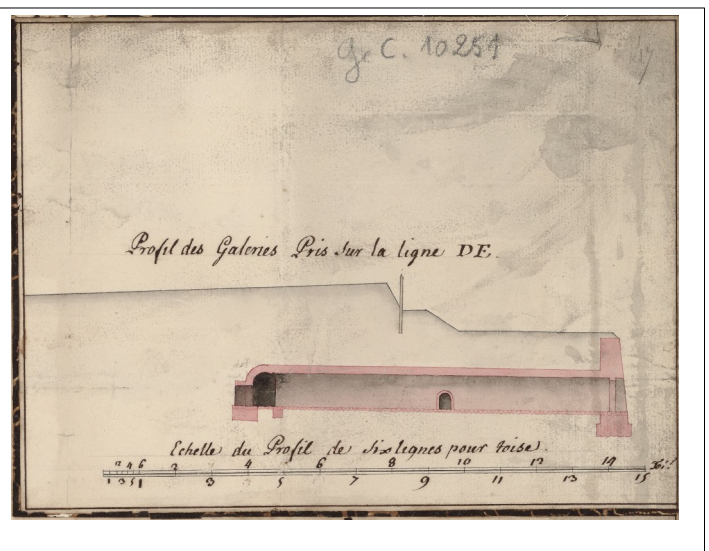
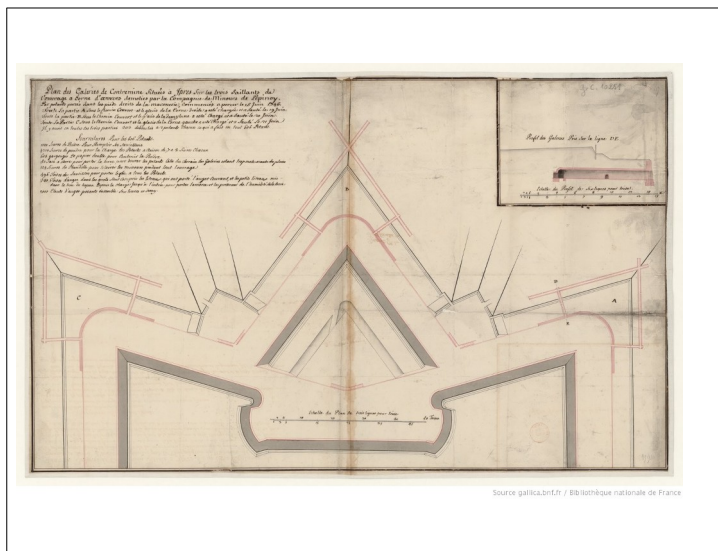


Figure II.19: Plan de galerie de contre-mine (en rouge) sur un saillant d'Ypres (source : gallica.bnf.fr).

Figure II.20: Plan de coupe d'une galerie de contre-mine sur un saillant d'Ypres (source : gallica.bnf.fr).

Caractéristiques générales des contre-mines

Épaisseur de recouvrement	Variable, jusqu'à une dizaine de mètres
Nature du recouvrement	Remblai, limon
Hauteur	Entre 1,5 et 2 m
Dimension (largeur, longueur)	Variables, les portées sont généralement faibles, 1 à 2 m
Type d'accès	Entrée en cavage (voir figure II.20) depuis le fossé
Localisation	Au niveau des fortifications et à l'avant ce celle-ci
Mode de confortement envisageables	Comblement, pilier de confortement, renforcement du toit

II.7.7 Les ouvrages militaires

II.7.7.1 Les tranchées

Les tranchées, ces chemins de bataille creusés dans la terre dans le but de protéger les troupes contre les attaques ennemies, n’ont jamais été autant utilisées que lors de la Première Guerre mondiale.

En 1914, lorsque les deux camps se figent sur leurs positions, l’emploi des tranchées prend une nouvelle ampleur avec un front continu qui s’étend sur 750 kilomètres de la Mer du Nord aux Vosges.

Les tranchées sont destinées à protéger les soldats des tirs horizontaux et de la vision de l’ennemi. Ce sont des boyaux creusés dans la terre, en zigzag ou en créneaux pour éviter les tirs en enfilade. On y trouve des abris, des postes de guet et de soins, des nids de mitrailleuses, on y accède par des boyaux de communication qui peuvent être couverts. Elles sont rendues moins accessibles par des réseaux de barbelés et d’autres obstacles.

Après le conflit, de nombreuses tranchées ont été mal remblayées ou mal nettoyées, et parfois comblées avec des déchets dangereux (munitions, munitions non explosées), provoquant encore des décennies après des effondrements et des tassements (ex : rue du temple à Arras en 2015, route de Thillooy à Beaurains en 2018). Elles restent des sources de risques environnementaux.



Figure II.21: Tranchée de première ligne dans la région d’Arras



Figure II.22: Croquis d’un champ de bataille de la guerre des tranchées. Croquis-dessin. Brun Georges, 2015.

II.7.7.2 Les abris de tranchée

Ces ouvrages spécifiques ont été réalisés lors de la Première Guerre mondiale. La guerre de position nécessitait pour les combattants de pouvoir se mettre à l’abri des tirs d’artillerie ravageurs. Les tranchées permettaient un abri précaire et formaient une plate-forme d’assaut, d’observation, de tirs défensifs, etc.

Pour plus de confort et de sécurité contre les obus, les soldats ont cherché refuge dans les profondeurs de la terre. Ces ouvrages, souvent appelés abusivement sapes, étaient des salles souterraines creusées à des profondeurs de 5 à 10 mètres. Elles permettaient de quitter les tranchées pour se mettre à l’abri. Elles avaient également d’autres rôles : infirmeries, salles de commandement, dépôt d’armes ou de munitions pour les usages les plus courants. Le terme regroupe aussi les sapes *sensu-stricto* qui désignent des excavations destinées à miner les positions ennemies.

Le schéma classique consiste en une galerie d'accès à partir d'une tranchée qui aboutit à une salle. Ces cavités formaient souvent un réseau de plusieurs salles reliées entre elles par des galeries. Les dimensions de ces salles étaient variables, avec des hauteurs d'environ 2 mètres et des dimensions latérales de quelques mètres, en fonction de leur usage. Les profondeurs aux toits devaient être suffisantes pour être à l'abri des bombardements ennemis. Elles étaient de 5 à 10 mètres, mais pouvaient être plus profondes.

À la fin des hostilités, de nombreux souterrains n'ont été que partiellement comblés ou leurs accès ont été condamnés par des matériaux divers. Leurs emplacements n'ont jamais été repérés de manière fiable. À l'heure actuelle, leur dégradation aboutit à des effondrements localisés et brutaux. Il est donc à craindre, à proximité des anciennes lignes de front de la Première Guerre mondiale qu'il subsiste des vides non répertoriés. Les fontis résultants restent de taille modeste, mais suffisante pour générer des désordres significatifs en surface.

Au cours de la Seconde Guerre mondiale, un certain nombre de cavités ont été rouvertes et réaménagées afin de servir d'abri pour les populations civiles (article de presse, voir document BEA36), mais également pour les troupes (QG militaire par exemple).

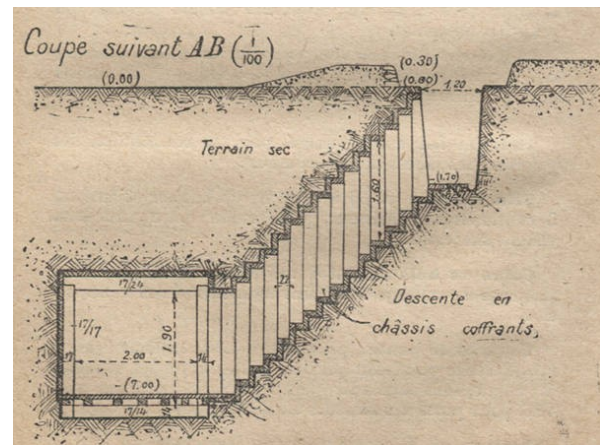


Figure II.23: Entrée d'un abri dans une tranchée allemande de première ligne (source : gallica.bnf.fr)

Figure II.24: Coupe d'un abri de tranchée (source : rosalielebel75.franceserv.com)

Caractéristiques générales des abris de tranchée

Épaisseur de recouvrement	Variable, jusqu'à une dizaine de mètres
Nature du recouvrement	Remblai, terrain de couverture
Hauteur	Entre 1,5 et 2 m
Dimension (largeur, longueur)	Quelques mètres
Type d'accès	Entrée en cavage depuis la tranchée
Localisation	Sur l'ensemble de la ligne de front, généralement au niveau des tranchées de premières lignes
Mode de confortement envisageables	Comblement

II.7.7.3 Les sapes

Dans la guerre de position qu'est la guerre de tranchées, une des méthodes permettant l'avancée d'un camp ou d'un autre est souterrain. Dans chaque camp, les compagnies de sapeurs sont chargées de creuser des galeries pour poser des explosifs directement sous les tranchées ennemies. C'est l'origine des énormes cratères résultants de la guerre des mines.

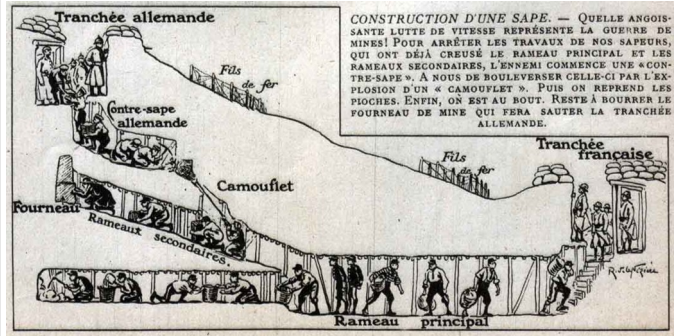


Figure II.25: Tunnel de sape française en Argonne (source : stephanecompont.com)

Figure II.26: Schéma d'explication sur les techniques de sape et contre-sape (source : gallica.bnf.fr)

Caractéristiques générales des sapes

Épaisseur de recouvrement	Variable, jusqu'à une dizaine de mètres
Nature du recouvrement	Remblai, terrain de couverture
Hauteur	Entre 1 et 2 m
Dimension (largeur, longueur)	1 à 2 m de large, jusqu'à une centaine de mètres de longueur
Type d'accès	Entrée en cavage depuis la tranchée
Localisation	Depuis la tranchée de première ligne en direction des tranchées ennemies
Mode de confortement envisageables	Comblement

II.7.7.4 Les ouvrages de surface

Les ouvrages militaires de surface sont des constructions militaires ayant pour but de protéger une portion de la ligne de front. Un ouvrage désigne au sens large n'importe quel élément (casemate, blockhaus, abri, fossé, etc.) composant ladite ligne, mais au sens précis du terme, un « ouvrage » est synonyme d'un fort, c'est-à-dire une fortification autonome imposante.

Un ouvrage s'organise autour de son armement et de sa mission, ainsi, suivant les rôles attribués, on retrouve différentes tailles d'ouvrages et différents éléments. De plus, l'adaptation au terrain est également prépondérante dans l'organisation générale de ces ensembles fortifiés.

Ces ouvrages sont composés d'un ensemble de blocs en surface, reliés le plus souvent entre eux par des galeries profondément enterrées, avec des souterrains communs (magasins, casernement, etc.).

Dans le secteur d'Arras, bien que l'on manque d'information, ce schéma se retrouve du côté allemand avec la ligne Hindenburg, où le béton a beaucoup été utilisé (abri, bunker, etc.). Côté allié, l'utilisation des souterrains existants (carrières et boves) reliés par des galeries creusées par les tunneliers alliés a permis de recycler les anciennes cavités pour permettre de déplacer les hommes et le matériel sur le front.

II.7.8 Les facteurs humains déterminants de la présence de cavités souterraines

Les cavités souterraines et leur nature sont liées à une fonction :

- les caves : elles sont intégrées à la construction, généralement dans l'emprise du bâtiment. On ne peut donc les trouver que dans les zones urbanisées ,
- les boves : elles ont pour fonction d'assurer la sécurité des populations. Partant généralement des caves, elles ont généralement une extension limitée, en dehors du périmètre du bâtiment. Leur localisation est forcément urbaine, dans l'hyper-centre actuel, y compris sous la voirie ,
- les catiches correspondent à un mode d'exploitation traditionnel de la craie, que ce soit à des fins agricoles (amendements calciques), industrielle (production de la chaux) ou comme pierre à bâtir. Elles peuvent donc se trouver n'importe où sur le territoire, tant dans les quartiers anciens que dans les zones plus récemment conquises par l'urbanisation ,
- les carrières souterraines en chambres et piliers ont été creusées dans le cadre d'une exploitation plus industrielle et organisée de la ressource, principalement pour alimenter la construction de la ville et de ses fortifications. Elles répondent à un besoin local et se sont développées en dehors du périmètre urbanisé de l'époque. Compte tenu de la croissance presque concentrique de la ville, il est normal que les principales cavités soient situées au-delà des fortifications et donc sous des quartiers qui se sont développés au cours du XX^e siècle ,
- Les souterrains Vauban avaient une fonction de défense. Ils sont connus sur d'autres sites et consistaient en des galeries de contre-mine aménagées en avant des fortifications dans une emprise assez limitée (quelques dizaines ou centaines de mètres seulement). La périphérie de la Citadelle et le pourtour des anciens remparts sont potentiellement concernés ,
- les souterrains militaires sont partis de la zone urbaine de l'époque, sensiblement à l'emplacement des remparts Vauban (quartier de la gare), en direction du front. Ils ont permis de redécouvrir les anciennes carrières souterraines qui étaient parfois oubliées et mises à jour par le génie militaire. Leur connaissance est assez exhaustive, même si ces vides ne sont pas toujours visitables aujourd'hui (remblaiement, effondrement, etc.). Ils concernent principalement le sud de la ville d'Arras, Beaurains et Achicourt ,
- Les ouvrages de surface et les tranchées ont été détruits et remblayés à la fin du conflit. Ils concernent la ligne de front, côté français et côté allemand sur une largeur variable de plusieurs kilomètres, principalement sur les territoires de Beaurains et d'Achicourt. La présence de vides résiduels, voire de dépôts de munitions est probable dans cette zone, sans qu'il soit possible de les localiser précisément.

TITRE III DÉSORDRES POSSIBLES EN SOUTERRAIN ET RECENSEMENT

III.1 LES FACTEURS DE DÉSORDRES

III.1.1 L'évolution des cavités

La création d'un vide dans le sol induit une redistribution des contraintes naturelles influencée par différents facteurs de prédisposition liés aux conditions naturelles et d'exploitation du site. Cette détente des contraintes verticales appliquée par les terrains sus-jacents, dans le toit des cavités, s'opère en se reportant sur les appuis. Cela se traduit par une augmentation de la contrainte verticale sur les piliers et engendre des efforts de flexion sur le toit et le mur des cavités. Dans le massif, on observe également une augmentation de la contrainte verticale sur les bords de la cavité.

La décompression de la roche entraîne son gonflement et la désolidarisation de dalles, en particulier au ciel, amorçant ainsi des cloches de fontis. Ce phénomène est favorisé par les portées trop importantes entre piliers ou par la trop grande portée des galeries. La présence de diaclases constitue également un élément de fragilité du toit et des piliers.

La craie est un matériau évolutif, notamment en présence d'eau. La circulation d'air humide dans les cavités, les rejets d'eaux usées et d'eaux pluviales dans les travaux souterrains, la variation du niveau de la nappe, mais aussi les variations de température sont autant de facteurs de fragilisation du ciel et des piliers. Ces facteurs produisent un délitage de la roche qui se désagrège lentement et inexorablement.

En fonction du taux de défrètement¹ de l'exploitation, de la nature et de l'état des dispositifs de confortement (étais, piliers, soutènements, etc.), cette évolution est plus ou moins rapide et brutale.

Des rejets d'eau intempestifs (déversement d'eaux usées ou pluviales), des surcharges (constructions, remblais, passage ou stationnement de véhicules, etc.), des vibrations (séismes, passage de véhicules, passage de trains, travaux de terrassement, etc.) peuvent être les détonateurs des instabilités en produisant la rupture du toit, l'écrasement des piliers, ou la rupture des ouvrages de colmatage (débouillage de puits, effondrement de voûte de catiche).

Les ruptures des travaux souterrains (pilier, voûte maçonnées...) résultent généralement de schémas de dimensionnement insuffisants, établis jadis sur des considérations de productivité et de sécurité du personnel durant l'exploitation, plutôt que sur le souci du maintien de la stabilité des cavités dans le long terme.



Figure III.1: Montée de voûte entre 2 diaclases qui ont « prédécoupé » la masse crayeuse (Etrun (62), CEREMA)

1 Le défrètement est le rapport des vides, après extraction du matériau, à la surface circonscrivant ces vides

III.1.2 L'angle d'incidence

Les effets de surface liés aux ruptures souterraines ne concernent pas strictement l'emprise des cavités, mais un périmètre beaucoup plus large défini par le cône d'influence. Ce cône est déterminé par l'angle d'influence qui dépend de la nature de la roche constituant le toit (de son angle de frottement), de son pendage et de sa fracturation.

L'emprise spatiale de la zone d'influence en surface est donc conditionnée par cet angle d'influence et la profondeur de la cavité (accessoirement de son volume).

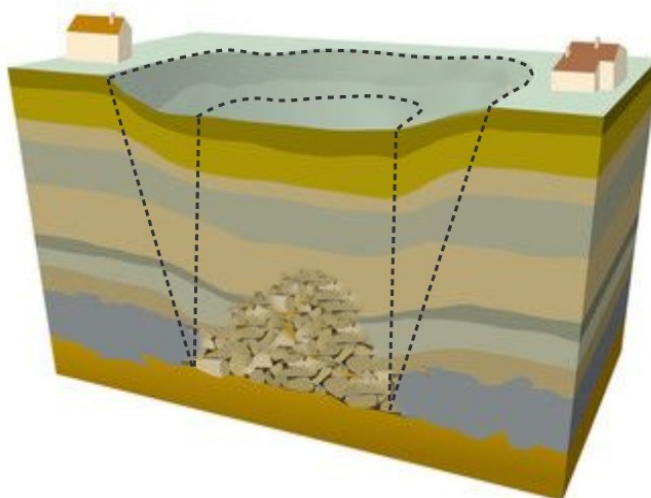


Figure III.2: Schématisation de l'angle d'influence

III.2 LES TYPES DE DÉSORDRES

Les désordres que l'on peut redouter sur la zone d'étude sont de plusieurs ordres :

- Les phénomènes lents (tassements, affaissements...),
- Les phénomènes rapides et brutaux (effondrement, chute et rupture d'ouvrage...).

III.2.1 Les phénomènes lents

III.2.1.1 Les tassements

Un grand nombre de cavités et de tranchées ont fait l'objet de remblaiement par le fond ou par la surface. La mise en place de ces remblais, parfois sur de grandes épaisseurs, s'est généralement faite sans compactage et probablement sans trop tenir compte de la qualité des matériaux utilisés.

Le compactage naturel des matériaux peut occasionner des tassements (c'est l'ensemble du terrain qui s'affaisse) ou des tassements différentiels (le tassement n'est pas homogène sous le bâtiment) ce qui occasionne une intense fissuration des structures (en général, apparition de fissures à 45°).

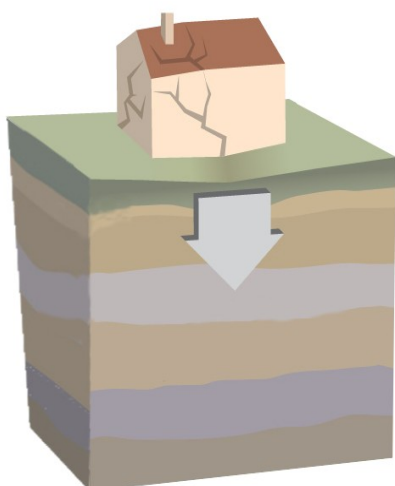


Figure III.3: Tassement différentiel au-dessus d'une carrière de craie à Montdidier

III.2.1.2 Les affaissements

Lorsqu'il existe des vides résiduels dans les cavités remblayées, ou lorsque les vides sont peu importants ou très profonds, le foisonnement¹ des matériaux éboulés du toit (comme on peut les identifier dans un certain nombre de fiches de la BSS² du BRGM) ne permet pas au fontis de remonter jusqu'à la surface.

Tassement et affaissement produisent, en surface, des désordres très semblables, de telle sorte qu'il est souvent difficile de déterminer, a priori, quel en est leur origine. La fissuration peut aussi être le signe avant-coureur de désordres beaucoup plus graves, qui peuvent aller jusqu'à la ruine des bâtiments.

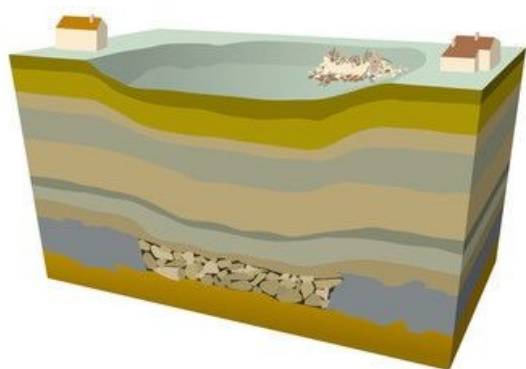


Figure III.4: Tassement sur terrains sous-cavés à Montdidier

Dans l'emprise du cône d'influence (Cf. § III.1.2), le terrain s'affaisse, occasionnant la fissuration du bâti. Si le tassement est important et que le bâti n'est pas adapté, le phénomène peut aller jusqu'à la ruine de la structure.

1 Le foisonnement des matériaux exprime l'augmentation de volume des matériaux éboulés par rapport à leur volume initial.

2 BSS : Base de données du Sous-Sol gérée par le BRGM.

III.2.2 Les phénomènes rapides et brutaux

III.2.2.1 Chute du ciel

La lente décompression de la roche occasionne des décollements de dalles au ciel des cavités.

Lorsque la voûte initiée par la rupture du toit de l'excavation ne se stabilise pas mécaniquement du fait de la présence de bancs résistants et massifs au sein du recouvrement, elle se propage progressivement vers la surface. Dans ce cas, si l'espace disponible au sein des vieux travaux est suffisant pour que les matériaux éboulés et foisonnés puissent s'y accumuler sans bloquer le processus de remontée par « autocomblement », la voûte peut atteindre la surface du sol et entraîner l'apparition d'un fontis (effondrement localisé).

Cf. § III.2.2.2 Les fontis ci-après.



Figure III.5: Effondrement du toit (rue des Hochettes - Arras)

III.2.2.2 Les fontis



Figure III.6: Engloutissement d'un transformateur EDF à Beaurains (février 2018)

La rupture du toit de la cavité peut entraîner la remontée d'une cloche de fontis jusqu'à la surface du sol qui s'effondre brutalement. Les matériaux éboulés ne sont pas assez abondants pour combler la cavité et une ouverture circulaire plus ou moins importante (de quelques mètres à quelques dizaines de mètres) apparaît en surface. Les abords du fontis sont particulièrement instables et dangereux.

III.2.2.3 Les ruptures de tête de puits ou de voûte de catiche et le déboufrage des puits

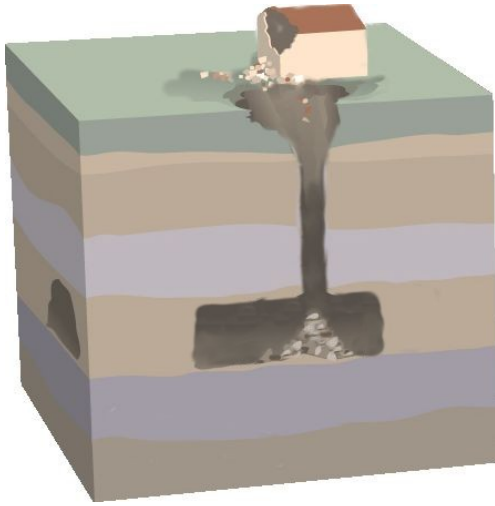


Figure III.7: Rupture d'une tête d'un ancien puits obstrué (Arras- 62, rue Gustave-Colin)

Les têtes de puits et les voûtes de catiches sont situées en surface dans une zone où la roche est forcément altérée, décomprimée et soumise aux agressions extérieures (infiltrations d'eau, surcharges, vibrations, etc.) qui peuvent conduire à sa ruine.

En surface, le phénomène s'apparente à un fontis, mais ici seules les couches superficielles sont impliquées dans l'instabilité. La manifestation en surface peut ainsi se restreindre à un cratère de petite taille (quelques mètres de diamètre au maximum) ou générer des désordres plus importants (diamètre de l'ordre d'une dizaine de mètres). Le principal facteur de prédisposition identifié dépend des caractéristiques de la structure mise en place en tête du puits (plancher, bouchon, etc.), en particulier de sa pérennité et de la nature des terrains encaissants.

Les anciens puits d'exploitation, mal traités ou mal remblayés (à l'aide de matériaux qui peuvent être remobilisés, notamment en présence d'eau), peuvent débouffrer, c'est-à-dire voir les remblais s'écouler au sein des ouvrages souterrains, avec pour conséquence la formation d'un cratère en surface. Ce débouffrage peut, dans certains cas, s'accompagner ou être suivi d'une rupture des terrains autour de la tête de puits. Il se produit alors un cône d'effondrement dont les dimensions dépendent de l'épaisseur et des caractéristiques géologiques et mécaniques locales des terrains.

III.2.2.4 Les ruptures de piliers

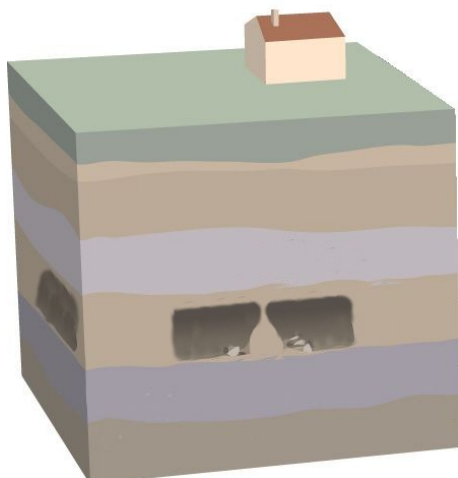


Figure III.8: Éclatement d'un pilier et affaissement du toit (Saint-Même-les-Carières)

Dans les carrières souterraines en chambres et piliers, les piliers ont pour vocation de soutenir le toit. Ces structures constituées de matière non exploitée et parfois de maçonnerie supportent des efforts considérables occasionnés par l'épaisseur de la roche sus-jacente. Du fait de l'altération par l'eau, l'humidité ou par simple fatigue mécanique, ces piliers peuvent éclater ou rompre et entraîner la rupture du toit. Le phénomène pourra ensuite évoluer en affaissement en surface ou en fontis localisé lorsque la profondeur des travaux et la résistance des terrains du recouvrement ne sont pas suffisamment importantes.

III.2.2.5 Les effondrements généralisés

Ce phénomène de grande ampleur n'est pas connu sur le territoire de l'Arrageois. Il se traduit par l'effondrement de l'ensemble ou d'une grande partie de la cavité souterraine et affecte de ce fait une grande surface. Le phénomène peut être soudain ou au contraire se propager de proche en proche par rupture progressive des piliers. Par son ampleur, il ne peut concerner que les carrières souterraines en chambre et piliers.

Seul un phénomène ayant affecté les abords des actuelles habitations n°4 à 14 de la route de Bapaume le 12 mai 1925 a été identifié qui, par ses dimensions, laissent penser à un « petit » effondrement généralisé (Cf. § III.3.3.1 Effondrement généralisé – carrière souterraine – route de Bapaume – Arras/Achicourt).



Figure III.9: Effondrement généralisé à Clamart (92) en 1961 (source : gettyimages.com)

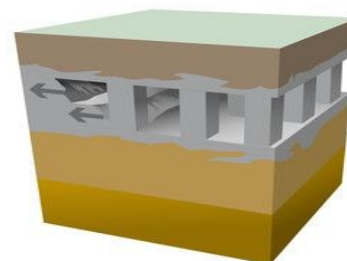


Figure III.10: Exploitation des carrières en chambres et piliers

III.3 LE RECENSEMENT DES CAVITÉS SUR LE TERRITOIRE

III.3.1 Le dénombrement

III.3.1.1 Les cavités souterraines

Les cavités présentes sur le territoire d'Achicourt, Arras et Beaurains ont fait l'objet d'un inventaire établi par :

- recherche dans les archives civiles :
 - les archives départementales,
 - les archives municipales,
 - les autres archives civiles.
- recherche dans les archives militaires :
 - les archives françaises,
 - les archives britanniques,
 - les archives allemandes.
- exploitation de ressources Internet diverses.

Cette connaissance demeure imparfaite, car il est impossible de prétendre à l'exhaustivité du recensement. En revanche, nous nous sommes attachés à décrire cette connaissance avec la plus grande rigueur, en particulier sur le positionnement des vides identifiés.

Il ressort de ces investigations le constat suivant en termes de nombre de cavités recensées arrêté début juillet 2018 :

Type de cavité	Achicourt	Arras	Beaurains
Cave	2	80	
Bove		83	
Catiche		7	
Chambres et piliers	14	38	5
Galerie	38	35	2
Ouvrage militaire		1	
Sapes			1
Cavités d'origine non définie avec certitude	55	445	7
Total	109	689	15
Nb de cavités / km ²	18,4	59,2	2,5

Tableau III.1: Dénombrement des cavités recensées

Ce tableau fait ressortir deux informations importantes :

- le territoire d'Arras est de loin le plus impacté, tant en nombre de cavités que de densité au km²,
- l'origine de la cavité n'est connue avec certitude que dans 37,6 % des cas.

Le graphe ci-dessous présente le pourcentage de cavités dont l'origine première est connue. Notons que de nombreuses carrières préexistantes ont fait l'objet d'une utilisation secondaire (en période de guerre notamment), mais seule la fonction première est retenue ici. On remarquera que pour plus de 62 % des cavités identifiées, leur origine n'est pas connue. Au total, ce sont 813 cavités qui ont été identifiées sur le territoire des trois communes.

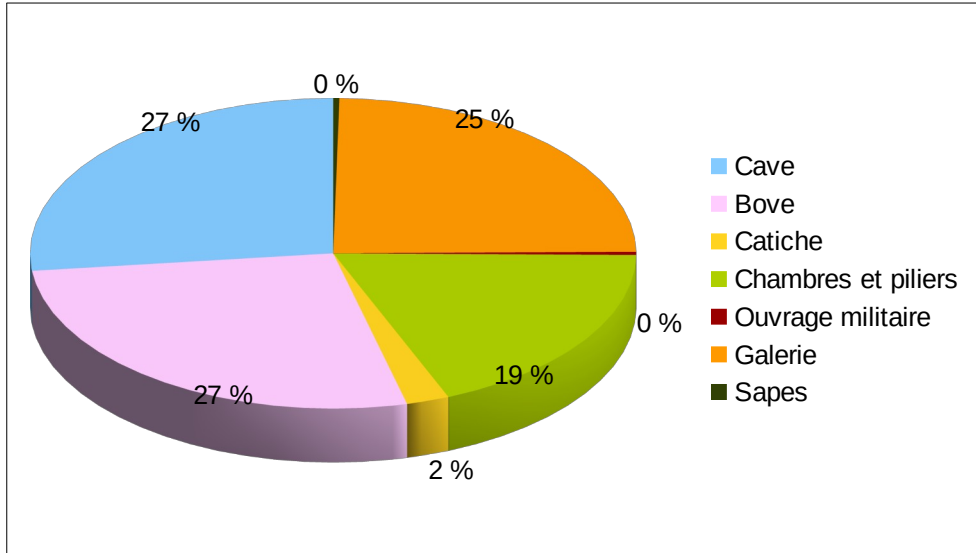


Figure III.11: Répartition des types de cavités dont l'origine est connue

III.3.1.2 Les cavités remblayées

Certaines cavités ont fait l'objet de travaux de remblaiement total ou partiel. D'autres ont des extensions connues, mais non cartées, d'autres encore sont murées, ce qui interdit leur reconnaissance. Ces éléments sont reportés dans le tableau ci-après :

Indices d'extensions de cavité	Achicourt	Arras	Beaurains
Secteurs remblayés des cavités connues	3	87	4
Secteurs non cartés des cavités connues	19	266	
Galeries murées des cavités connues		38	
Total	22	391	4
Nb de cavités identifiées mais non repérées / km ²	3,7	33,6	0,7

Tableau III.2: Informations complémentaires sur les cavités

III.3.1.3 Les puits

Les investigations ont également permis d'identifier les puits, sans qu'il soit toujours possible de les relier à des cavités connues. Ces puits peuvent donc correspondre à des puits d'eau ou à des puits permettant d'accéder à des travaux souterrains.

Puits	Achicourt	Arras	Beaurains
Puits (lié à une cavité connue)	6	120	4
Puits (non lié à une cavité connue)	1	273	1
Nb de puits / km ²	0,2	23,5	0,2

Tableau III.3: Dénombrement des puits

Le territoire comporte 405 puits dont la très grande majorité est située sur la commune d'Arras (393). Ces puits sont parfois en relation certaine avec des travaux souterrains. C'est le cas de 130 d'entre eux. Certains plus rarement sont des puits d'eau qui n'entrent pas dans le cadre du présent PPRMT. Les autres n'ont pas de lien connu avec une cavité souterraine actuellement identifiée.

III.3.1.4 Les tranchées

Les tranchées datant de la Première Guerre mondiale sont une source potentielle de désordres. L'exploitation des cartes militaires permet de quantifier le linéaire de tranchée sur le territoire :

Tranchées militaires	Achicourt	Arras	Beaurains
Tranchées (en m, distance approchée)	23000	62000	76000
Linéaire de tranchées (m) / km ²	3 872	5 331	12 688

Tableau III.4: Dénombrement des tranchées de la Grande-Guerre

Ainsi, les trois communes sont fortement impactées par la présence de tranchées. Toutefois, Beaurains qui se situait à proximité du front est nettement plus concernée avec 12,7 km de tranchées/km².

Au total, 161 km de tranchées ont été identifiés sur l'ensemble des trois communes. Celles-ci ont en principe fait l'objet de remblaiement en cours ou à la fin du conflit. Ce remblaiement n'a certainement pas été réalisé avec toute la rigueur en ce qui concerne les matériaux utilisés et les modalités de compactage. Des tassements plus ou moins importants sont donc à redouter. Au-delà de ce constat, il est très probable que des abris couverts, adjacents aux tranchées, n'aient pas été comblés et puissent constituer des vides résiduels de plus ou moins grand volume.

III.3.1.5 Les désordres recensés

Les désordres répertoriés sont à 78 % des phénomènes brutaux (fontis, effondrement du toit) et à 22 % des phénomènes lents de tassements.

Type de désordres	Achicourt	Arras	Beaurains
Affaissement	10	24	2
Fontis	4	62	24
Effondrement de toit	10	22	3
Total	24	108	29

Tableau III.5: Dénombrement des désordres

Ces phénomènes se produisent presque toujours de façon spontanée, sans cause extérieure visible. Cette soudaineté et l'absence de préavis font que ces manifestations peuvent se révéler particulièrement dangereuses pour la population.

En 2018, 161 désordres étaient recensés sur les trois communes. Près de 80 % d'entre eux sont des phénomènes brutaux (fontis ou effondrement du toit de la cavité) apparaissant de façon spontanée et sans préavis.

III.3.2 Les incertitudes

Ce recensement ne peut prétendre à l'exhaustivité, ni même à un positionnement trop précis des cavités ou des indices. Toutefois, il est possible dans certains cas d'indiquer la précision qui frappe ce positionnement. Il est compris entre le mètre pour les informations les plus fiables à plusieurs dizaines, voire centaines de mètres dans certains cas.

Pour chaque cavité ou indice identifié, dans le cadre des études d'aléa, une auréole d'incertitude plus ou moins large a été considérée au-delà du cône d'influence retenue (Cf. § III.1.2).

III.3.3 Phénomènes historiques

L'identification du type de mouvements de terrain possible sur un site donné nécessite de disposer de phénomènes de référence applicables à ce site. À conditions égales, un phénomène qui s'est déjà manifesté en un point donné peut se reproduire sur d'autres sites identiques, si les mêmes conditions sont réunies. Cette connaissance permet de s'approprier les mécanismes et l'ampleur possible d'un mouvement de terrain au niveau de la zone d'étude.

Partant des phénomènes de référence ainsi identifiés, l'aléa est ensuite qualifié en croisant l'intensité possible des phénomènes naturels avec leur probabilité d'occurrence.

Deux notions sont donc considérées pour sa qualification : **intensité et probabilité d'occurrence**.

Les témoignages historiques relatent peu de mouvements de terrain de grande ampleur apparus en surface. En revanche, les chroniques relatent un nombre significatif d'effondrements localisés, ruptures de tête de puits ou d'effondrements généralisés.

Un état non exhaustif des désordres historiques observés est détaillée ci-après.

III.3.3.1 Effondrement généralisé – carrière souterraine – route de Bapaume – Arras/Achicourt

Le 12 mai 1925, le service des mines de Béthune est avisé par les services de la Ville d'Arras de la présence d'importantes crevasses sur le bâti de la rue de Bapaume.

Cette rue étant la limite communale, les dégâts sont constatés sur le bâti des n°106, 108 et 114, sur la commune d'Achicourt : « des crevasses importantes affectent d'une façon spéciale les cours et dépendances desdits immeubles dans un cercle d'assez grand diamètre [...] Des excavations auraient déjà été comblées à cet endroit depuis la guerre ».

Les dégâts atteignent l'arrière des bâtis, en retrait de la rue. Les dégâts sont tels, que l'évacuation des habitants est recommandée sur les n°106 et 114.

Un second rapport du 14 mai 1925 apporte quelques précisions supplémentaires : « cet affaissement intéresse les propriétés [...] numérotées de 102 à 112, rue de Bapaume. L'affaissement se produit dans des terrains bâtis et non bâtis, en bordure de la route nationale et le point le plus rapproché de l'affaissement se trouve en environ 9 mètres de l'alignement. L'affaissement forme une sorte de cuvette circulaire d'environ 50 mètres de diamètre [...] ».

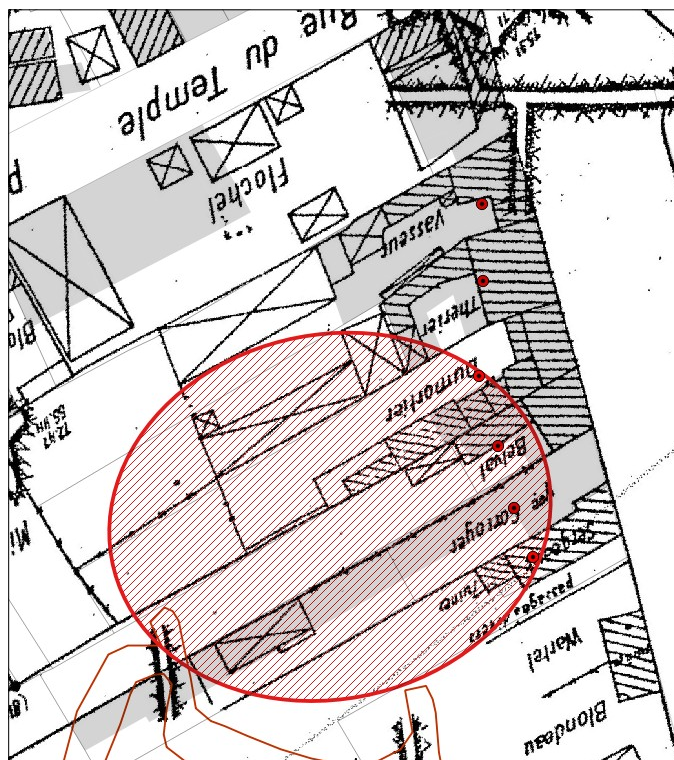


Figure III.12: Localisation estimée de l'effondrement de 1925 (zone rouge hachurée). Les pastilles rouges indiquent les propriétés impactées.

La localisation de cet effondrement précisé dans une lettre datée du 16 mai 1925 : « [...] dans le voisinage de la route nationale n°37, à la limite des communes d'Arras et d'Achicourt à une soixantaine de mètres du croisement de la Route Nationale et du chemin vicinal ordinaire n°9. ».

Il nous est apparu que la localisation de cet effondrement ne correspond plus à l'adresse postale actuelle (la rue de Bapaume étant devenu partiellement la rue Lobbedez). À l'aide des noms des propriétaires indiqués dans les différents courriers et du document XXX059, portant le nom des propriétaires sur le cadastre de 1930, il nous a été permis de localiser l'effondrement au niveau des actuels n°4 à 14 de la route de Bapaume actuelle.

L'importance du phénomène en surface et les dégâts associés laissent penser à l'effondrement généralisé d'une cavité partiellement remblayée ou de faible hauteur.

III.3.3.2 Effondrement – Bove – rue de la Housse – Arras

Le 14 novembre 1955, un effondrement se produit dans la cave du n°14 de la rue de la Housse, puis la déstabilisation se propage avant de remonter en surface et de provoquer un large fontis (une dizaine de mètres de large) à la limite du bâti. D'importantes fissures apparaissent sur les façades du n°16 et 14, sous-cavées. Dans l'urgence, les façades sont étayées afin d'éviter leur ruine complète.

L'origine de la déstabilisation semble être la rupture de la voûte de la bove (profondeur du plancher d'environ 10 m) par la surcharge du plancher du niveau de cave (entreposage de charbon). La rupture du plancher de cave entraîne la rupture des fondations du bâti, qui se retrouvent suspendues au-dessus du vide. Cette situation aboutit à un report de charge sur un pilier de la carrière, dont la rupture entraînera l'ensemble des terrains à l'aplomb et l'apparition du fontis à la surface.

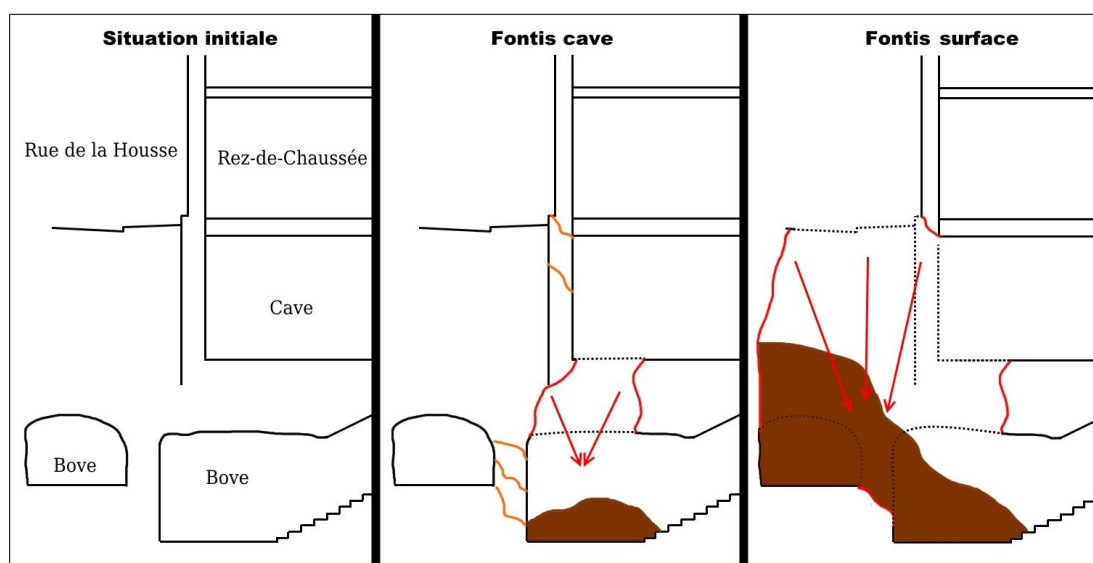


Figure III.13: Schéma de la déstabilisation du 14 novembre 1955

Réalisé à partir du document ARR248. Les ruptures de voûtes sont symbolisées en rouge, les zones fragilisées par les reports de charge en orange. La zone occupée par les matériaux éboulés est symbolisée en marron.

III.3.3.3 Effondrement – carrière souterraine – croisement rue de Saint-Quentin et rue de la République – Arras

Le 18 octobre 1938, l'éboulement d'une galerie à 14 m de profondeur dont les bois d'étais se sont dégradés entraîne un affaissement de la chaussée et des trottoirs en surface, provoquant alors une rupture de canalisation souterraine d'adduction d'eau. L'eau déversée dans la cavité a aggravé l'instabilité entraînant l'écroulement partiel d'un immeuble en surface (façade et une partie des deux pignons).

Aujourd'hui, le secteur concerné porte encore les stigmates de l'effondrement en profondeur. On notera dans ce secteur, comme dans beaucoup de cavités visitées, que des remblais contenus par des murets de pierres sèches masquent la partie basse des parois de la cavité.

Ceux-ci peuvent également cacher des vides qui peuvent être partiellement remblayés, ce qui peut modifier les contours de la cavité, le taux de défrusement et la portée entre piliers. L'effondrement partiel d'un muret dans cette zone, a mis à jour une zone vide d'environ 4 m² en bordure de la galerie.

On citera également le cas de la cavité Thomson, où le déblaiement d'un remblai a mis à jour une chambre circulaire supplémentaire de 10 m de diamètre.

III.3.3.4 Rupture de pilier – carrière souterraine – rue V. Hugo – Beaurains

Le 11 juin 1987, au matin, un fontis d'une dizaine de mètres de largeur s'ouvre sur la chaussée en limite du bâti au 21, rue Victor Hugo à Beaurains, entraînant le mur de la cave de l'habitation et faisant porter une partie de la façade dans le vide. La cavité sous-jacente n'était a priori pas connue, bien qu'elle montre des signes d'occupation lors de la seconde guerre mondiale.

Il s'agit d'une cavité en piliers tournés, longiligne (50 x 10 m), dont la forme est approximativement celle de la parcelle. Le bâti étant partiellement déstabilisé, le fontis est comblé dans la journée avec des matériaux divers (brique, ballast).

Néanmoins, le scénario de rupture naturelle d'un pilier est conforté par les observations de la SOCOTEC le jour même, puis par le Service de l'Inspection des Carrières Souterraines du département du Nord lors de l'inspection du 9 octobre 1987.

Celui-ci notera par ailleurs que le rapport de charge sur les piliers avoisinants compromet la stabilité du restant de la cavité, car l'ensemble des piliers, malgré leur section satisfaisante, est fissuré.



*Figure III.14: Fontis à l'avant du 21 rue Victor Hugo à Beaurains.
Source : BRGM (BEA25).*

III.3.3.5 Déstabilisation de bove – rue Baudimont – Arras

Le 28 juillet 1993, une fuite d'eau d'un robinet dans la cave du 13, rue Baudimont permet la découverte fortuite d'une cavité sous la voirie. Auparavant, seul un niveau de cave était connu.

La déstabilisation (affaissement) du sol de ce niveau de cave, dans lequel un robinet fuit depuis plusieurs jours, permet de découvrir qu'un second niveau est présent et remblayé.

C'est l'effondrement du troisième niveau, non remblayé et dans lequel plusieurs infiltrations se sont produites (perte du réseau unitaire et robinet), qui provoque l'affaissement partiel du sol de la première cave et l'effondrement du mur mitoyen avec l'immeuble sis au n°11.

L'accès par cet immeuble permet de découvrir deux niveaux de cavités maçonnées sous la voirie, parallèle aux façades et approximativement au niveau des 2^{ème} et 3^{ème} niveaux de cave. Une fuite est détectée au niveau de la canalisation du réseau d'égout unitaire installée dans le niveau de la voûte la plus proche de la surface.

Celle-ci a désagrégé la voûte du niveau inférieur, entraînant son effondrement et la déstabilisation dans le troisième niveau de cave non connu du n°13.

Cette déstabilisation permet de découvrir à temps la présence des deux niveaux sous la voirie, dont la rupture complète aurait pu avoir de plus grave conséquence.

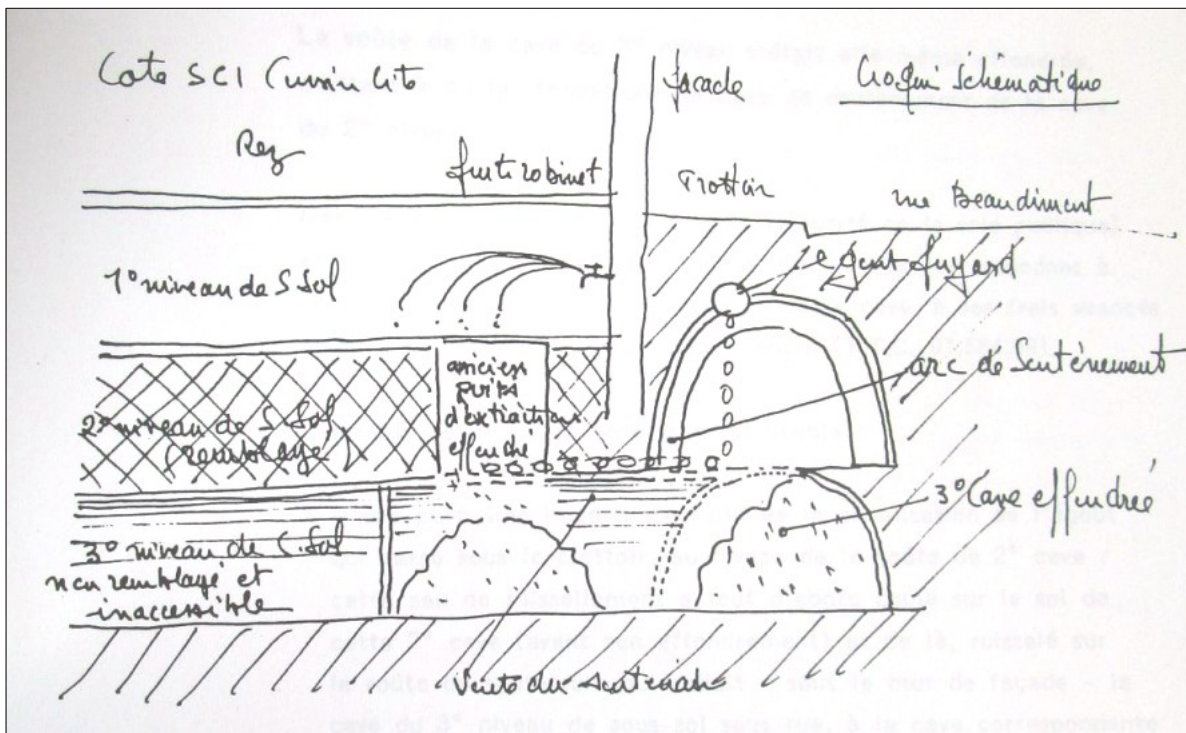


Figure III.15: Schéma de la déstabilisation du 13 rue Baudimont à Arras issu du document ARR235

III.3.3.6 Rupture de bouchon de catiche – avenue Lobbedez – Arras

En décembre 1996, un effondrement se produit dans le jardin du 108, avenue Fernand-Lobbedez. L'ouverture en surface est ovoïde (1,5 x 3 m), la profondeur est de 9 m au sommet du cône d'éboulis et de 11 m à sa base.

La largeur de la cavité est d'environ 5,5 à 6,5 m de largeur avec deux départs de galeries effondrées vers le sud et le nord. Le volume estimé de la cavité (130 m³) et les proportions laissent à penser qu'il s'agit de l'effondrement de la voûte d'une catiche.

Lors de l'étude, un effondrement similaire a été identifié dans les années 1990 dans une parcelle voisine au numéro 104. L'existence d'une connexion entre ces deux cavités est assez probable dans le sens où une galerie se dirige vers cet effondrement plus ancien.

Celui-ci a été traité par le recouvrement d'une dalle de béton.

On ne peut exclure une connexion vers la cavité Jean-Jaurès qui se trouve à 70 m au sud.

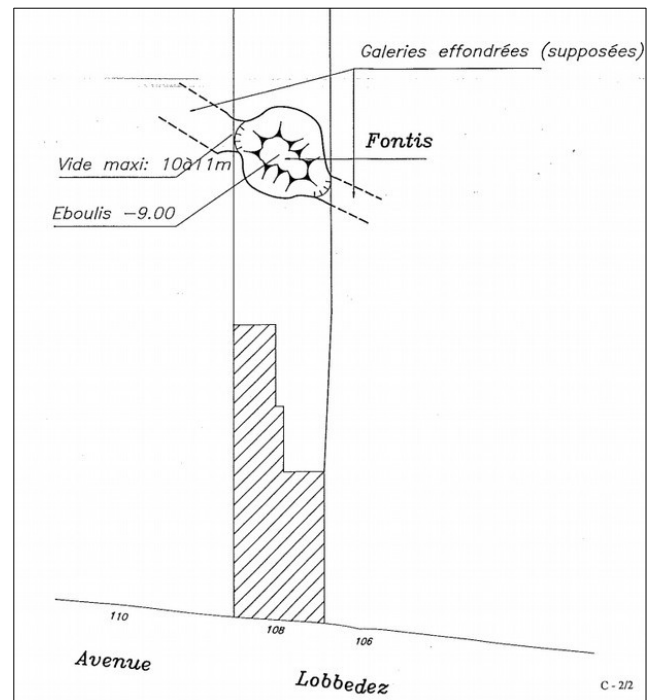


Figure III.16: Extrait du document ARR274 localisant l'effondrement.

III.3.3.7 Fontis lié à un abri de tranchées – ouvrage militaire – rue du Docteur Schweitzer – Beaurains

Le vendredi 14 mars 2008, un fontis de 2,5 m de diamètre et de 4 m de profondeur apparaît dans le jardin d'une habitation rue Docteur-Schweitzer à Beaurains.

L'équipe du Groupe de Reconnaissance et d'Intervention en Milieux Périlleux (GRIMP), envoyée sur place, découvre deux salles de 36 m³ reliées par un boyau, avec une épaisseur de recouvrement évaluée à 5 m.

La position du fontis correspond à l'emplacement d'un abri de tranchées allemand porté sur une carte de tranchées de 1918 (document référencé XXX45). La découverte d'un obus allemand tend à confirmer qu'il s'agit bien d'une cavité utilisée pendant la première guerre mondiale, sans doute comme abri ou dépôt.



Figure III.17: Fontis rue Docteur-Schweitzer à Beaurains. Source: GRIMP (BEA14)

III.3.3.8 Fontis multiples – Arras

En juillet 2005, plusieurs mouvements de terrains sont apparus sur la commune d'Arras. On retiendra les événements suivants :



Figure III.18: Fontis le long de la chaussée du barreau sud.
Source: Mairie d'Arras (ARR296)

- au niveau du **barreau sud** (liaison rue de Cambrai et rue Bocquet-Flochel), un important fontis apparaît en bordure de la chaussée. Son diamètre est estimé d'après les photographies à environ 2 à 3 m, pour une profondeur équivalente.

Ce secteur se trouve à proximité d'un secteur de sapes connues et peut prévenir d'un effondrement partiel de l'ouvrage (profondeur inconnue).

Il peut également s'agir d'un effondrement lié à des ouvrages annexes de tranchées (abris) ou à des carrières souterraines non connues. Aucun diagnostic n'ayant été réalisé à notre connaissance, il n'est pas possible de conclure sur l'origine du fontis avec certitude.

- au niveau de la **Chambre Régionale des Comptes** sise 14, rue du Marché-au-Filé à Arras, un fontis de faible diamètre apparaît dans la cour de l'établissement.

Des investigations plus poussées (géoradar et sondages) permettront de mettre à jour un niveau de cavité vers -7 m dont la remontée de voûte d'abord dans la craie puis dans des matériaux meubles (remblais) est à l'origine du fontis en surface.

Il s'agit d'un niveau de bove, courant dans le centre-ville, dont l'accès vraisemblablement remblayé empêche de surveiller la dégradation de la cavité et de prévenir les désordres en surface.

III.3.3.9 Rupture de bouchon de catiche – rue E. Zola – Arras

En juin 2012, lors de la réhabilitation d'une allée d'une propriété privée au 48 rue Émile-Zola, un effondrement est constaté en bordure du bâti.

Le GRIMP effectue une exploration de l'effondrement.

Celui-ci donne sur une large carrière qui était inconnue auparavant. Elle ne montre pas de signe d'utilisation lors de la première guerre mondiale et aucune connexion vers des cavités connues n'a été découverte.

Le diagnostic réalisé à la suite de cette découverte se limitera à réaliser un levé de la cavité dans la zone proche de l'effondrement et se trouvant sous le bâti.

C'est pourquoi dans le cadre de la présente étude, un relevé complémentaire de l'ensemble de la cavité a été réalisé. La catiche effondrée a nécessité de lourds travaux de remblaiement afin de permettre le retour des habitants dans le bâti sis à l'aplomb.



Figure III.19: Rupture de bouchon de catiche rue Émile Zola. Source: GRIMP (ARR285)

III.3.3.10 Débouillage de puits – rue G. Colin – Arras

Le 20 novembre 2015, un fontis est apparu dans le jardin au 62, rue Gustave-Colin.

Le fontis de 2,6 m de profondeur est circulaire, ce qui peut laisser penser qu'il s'agit du débouillage d'un puits mal remblayé.

La même année, des sondages réalisés à 25 m à l'est du fontis ont révélé la présence d'une carrière souterraine sous l'emprise du projet de la rue de Beaumarchais à une vingtaine de mètres de profondeur.



Figure III.20: Débouillage de puits rue Gustave Colin. Source: DDTM62 (ARR220)

III.3.3.11 Effondrement d'un transformateur – route de Tilloy – Beaurains



Figure III.21: Effondrement route de Tilloy. Source: DDTM62

Jeudi 25 janvier 2018, un effondrement route de Tilloy entraîne le basculement d'un transformateur électrique dans un fontis.

On peut signaler qu'un niveau de carrière a été découvert à proximité immédiate à une profondeur de 6 à 9 m. Le secteur est également concerné par des tranchées de la première guerre mondiale.

Enfin de nombreux fontis sont signalés dans ce secteur (11 dans un rayon de 200 m).

III.3.3.12 Débouillage de puits ou catiche – rue du Temple – Arras

Le 04 mai 2018, un fontis se déclare au passage d'un camion benne sur le site de l'école supérieure du professorat et de l'éducation (ESPE), rue du Temple.

Il mesure environ 50 cm d'ouverture et le vide visible n'a été ni mesuré, ni diagnostiqué.

Au vu des éléments connus, il peut aussi bien s'agir de la rupture d'une voûte de catiche que d'un débouillage d'un puits. La plus proche cavité connue se trouve à 100 m sur le site de l'université d'Artois.



Figure III.22: Débouillage de puits sur le site de l'ESPE d'Arras. Source: Mairie d'Arras (ARR364)

III.3.3.13 Fontis – rue R. Follereau – Arras

En mars 2017, un fontis apparaît au niveau des dernières places de parking de l'IRST le long de la rue Raoul-Follereau.

Le fontis est d'ampleur limitée, au centre d'un affaissement plus large. Des travaux de nature indéterminée sont effectués afin de combler le fontis et de permettre à nouveau le stationnement des voitures.

Cependant l'affaissement s'est réactivé, comme cela a pu être constaté en février 2019. Ce secteur est proche de la zone de front de 14-18, avec de nombreuses tranchées et galeries connues dans ce secteur.

L'effondrement d'un ouvrage militaire annexe aux tranchées (abris, dépôts, etc.) peut légitimement être envisagé. La plus proche carrière connue se situe à une distance de 350 m, sur le site de l'université d'Artois.

Faute d'éléments de diagnostic plus poussé (sondages), il n'est pas possible de se prononcer sur l'origine de la déstabilisation.



Figure III.23: Affaissement au niveau du parking de l'IRSTS. Source: mairie d'Arras et AGR.

TITRE IV LES ALÉAS

IV.1 MÉTHODE D'ÉVALUATION DE L'ALÉA

IV.1.1 Notion d'aléa

La notion d'aléa traduit la probabilité d'occurrence, en un point donné, d'un phénomène naturel de nature et d'intensité définie. Pour chacun des phénomènes rencontrés, différents niveaux d'aléas sont définis en fonction de l'intensité et la probabilité d'occurrence pour un ou plusieurs scénarios de référence. La carte des aléas a pour vocation de présenter un zonage des divers aléas observés ou identifiés à ce stade de l'étude, en fonction des recueils d'archives, des enquêtes réalisées auprès des collectivités et de la population et des reconnaissances de terrain. La précision du zonage est, au mieux, celle des fonds cartographiques utilisés comme support. Cette précision reste toutefois largement entachée par les incertitudes résiduelles induites par la qualité des documents consultés ou la justesse des témoignages.

Du fait de la grande variabilité des phénomènes naturels (affaissements, fontis, rupture de tête de puits, effondrement généralisés) et des nombreux paramètres qui interviennent dans leur déclenchement (qualité de la roche, densité de la fracturation, volume des vides, taux de défrètement, portée des vides, épaisseur de recouvrement, profondeur de la cavité, etc.), l'estimation de l'aléa dans une zone donnée est complexe. Bien que complexe, l'évaluation de l'aléa se veut la plus objective possible et repose sur la méthodologie exposée dans ce livrable, elle fait appel à l'ensemble des informations recueillies au cours de l'étude, au contexte géologique, aux conditions naturelles locales et à l'appréciation du chargé d'études. Pour limiter l'aspect subjectif, la cartographie doit respecter des principes de caractérisation des différents aléas validés par les services de l'État.

L'élaboration de la carte des aléas impose de connaître plus ou moins finement, sur l'ensemble de la zone étudiée, l'intensité et la probabilité d'apparition des phénomènes naturels. Le PPRMT n'a toutefois pas pour objectif de produire une qualification précise et exhaustive de l'aléa sur tout le territoire puisqu'il peut faire que le constat d'un état de connaissance (ou de la méconnaissance) à un moment donné. En matière de cavités souterraines, il est difficile de prétendre à l'exhaustivité de cette connaissance, car certaines cavités demeurent probablement inconnues à ce jour. De même, certaines cavités connues ne sont pas visitables du fait de l'obstruction des accès ou d'éboulements du ciel, ce qui introduit également une incertitude sur leur positionnement et leur stabilité. D'autres, au contraire, ont pu être visitées, voire relevées en topographie.

La cartographie de l'aléa constitue donc une traduction et une interprétation par l'expert chargé d'études qui doit prendre en compte l'ensemble de ces paramètres.

IV.1.2 Documents de référence

La qualification de l'aléa de mouvements de terrain liés aux cavités souterraines s'appuie sur le guide PPRN cavités souterraines abandonnées disponible à l'adresse suivante : side.developpement-durable.gouv.fr

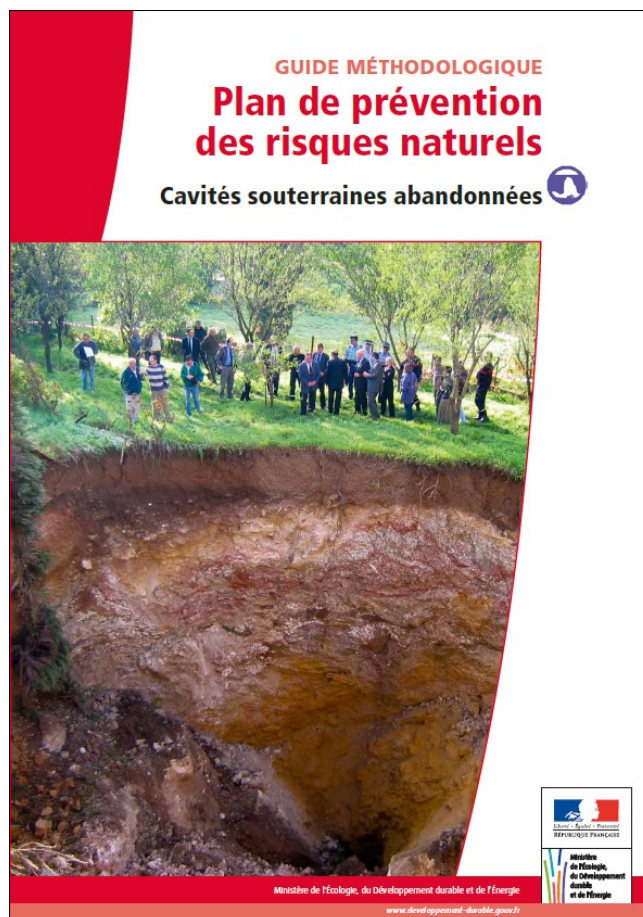


Figure IV.1: Guide élaboré par la Direction Générale de la Prévention des Risques du ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie en 2012

IV.1.3 Règles générales

La carte des aléas s'efforce de déterminer l'emprise des terrains exposés aux mouvements de terrain, en mettant en avant des secteurs plus fortement concernés que d'autres. Elle subdivise ainsi les phénomènes naturels en plusieurs niveaux d'importance qui sont traduits en termes d'aléas : aléas très fort, fort, moyen, faible, négligeable, ainsi qu'un indice de présence supposée de cavité. Les niveaux d'aléa répondent aux critères de classification définis pour chaque type de phénomène.

L'aléa est représenté en tenant compte des incertitudes liées à l'imprécision des informations recueillies (par exemple : cavité non localisable précisément, zone remblayée d'extension incertaine).

Il peut donc être très étendu sur certains secteurs lorsque l'information disponible n'est pas détaillée.

IV.1.4 Notion de phénomène de référence

La pratique et les textes en vigueur précisent que les aléas doivent être définis en retenant comme référence les plus forts phénomènes historiques connus si leur période de retour est supérieure à un siècle ou sinon un phénomène théorique centennal.

La notion de période de retour est difficilement applicable aux mouvements de terrain : ces phénomènes sont soit instantanés (rupture du toit d'une cavité, chutes de blocs, fontis), soit lents (affaissement). La fréquence d'apparition de ces phénomènes dans une zone donnée – et donc la période de retour – est difficile à estimer en l'absence d'observations longues et exhaustives.

Les aléas de mouvements de terrain ont donc été déterminés à partir de scénarios de référence qui correspondent à des phénomènes prévisibles, considérés comme très probables (probabilité tendant vers 1) sur une période d'une centaine d'années. L'aléa traduit donc les effets probables du scénario de référence, c'est-à-dire l'intensité prévisible des phénomènes intégrés au scénario.

Les aléas cartographiés correspondent ainsi à l'intensité des manifestations prévisibles des phénomènes naturels pour les scénarios de référence retenus.

Le phénomène de référence pour l'effondrement localisé (souvent dénommé fontis) est un effondrement partiel de la cavité lié à différent type de rupture :

- ruine d'un pilier, type événement de 1987, qui est le plus important phénomène historique connu (effondrement d'une dizaine de mètres de large)
- chute de toit, type événement de 2008
- débouillage de puits, type événement de 2015
- rupture de bouchon de catiche, type événement de 2012.

Le phénomène de référence pour l'effondrement généralisé est un effondrement complet d'un secteur de la cavité du type de l'événement de 1925. Si aucun autre phénomène de cette ampleur n'a été constaté, la réalisation de visites de terrain a permis de constater que ce phénomène reste possible sur le secteur d'étude.

IV.2 CRITÈRES DE CLASSIFICATION

IV.2.1 Probabilité d'apparition des désordres en surface

Lors de la chute des matériaux dans les cavités (du toit, des piliers, etc.), les matériaux éboulés occupent un plus grand volume que la roche en place, c'est le foisonnement. Ainsi, en fonction de la profondeur et du volume de vide, il est possible que des déstabilisations ne remontent pas à la surface, les matériaux éboulés comblant entièrement le vide. **Le coefficient de foisonnement retenu est de 1,3 soit une augmentation du volume des matériaux de 30 %.**

Néanmoins, cette valeur ne peut être directement utilisée pour calculer la probabilité d'apparition d'un fontis ou d'un affaissement en surface, car de nombreux autres paramètres sont à considérer tels que la résistance de la roche, l'épaisseur des matériaux de recouvrement, le diamètre de la remontée (aussi appelé cheminée), la stratigraphie fine, le pendage, la fracturation, etc. De même, l'étalement des matériaux éboulés en fond de cavité peut intervenir pour beaucoup, selon comment il s'effectue et de la place dont il dispose (volume de vide, présence d'eau pouvant modifier l'angle du cône d'éboulis, vide interstitiel des matériaux éboulés, etc.).

Le phénomène d'auto-comblement apparaît dès que le volume foisonné provenant de la cheminée égale la somme des volumes de la galerie et de la cheminée. Celui-ci ne peut être estimé exactement en tout point au vu des hauteurs de vides très variables dans les cavités et sans connaissance fine des recouvrements et de leur qualité.

Sur l'ensemble de la zone d'étude, les nombreux sondages réalisés dans la région montrent un faible recouvrement du substratum par des terrains meubles (1 à 2 m).

Il a été choisi de se rapporter à la **règle de Vachat**, élaborée empiriquement par l'observation de fontis dans les carrières de calcaire du bassin parisien, afin d'évaluer la probabilité d'apparition d'un fontis en surface. Selon cette règle, l'épaisseur du recouvrement H doit être supérieure ou égale à 15 fois la hauteur de la galerie w pour écarter le risque de remontée de fontis en surface. Cette règle ne permet pas de calculer le diamètre du fontis attendu en surface. Elle ne peut pas être appliquée strictement, notamment dans le cas où la nature et l'épaisseur des terrains de couverture sont défavorables.

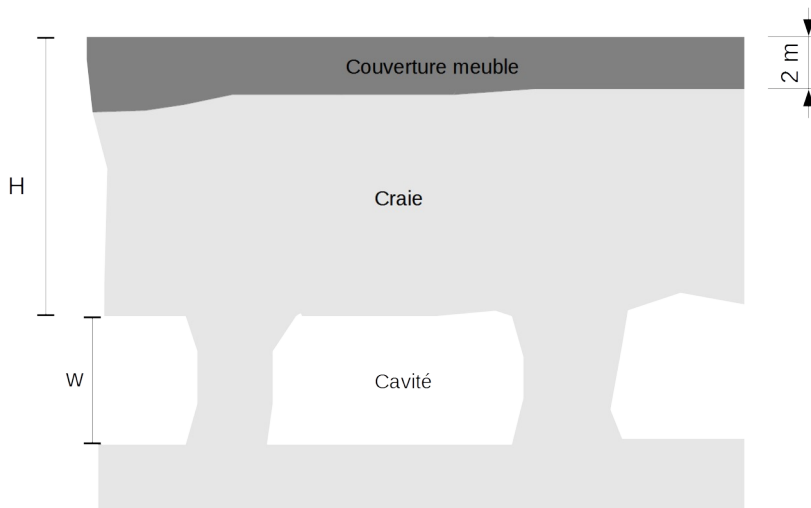


Figure IV.2: Paramètre géométrique de la règle de Vachat.

En conséquence, les phénomènes d'affaissement sont considérés pour des cavités présentant un rapport H/w supérieur à 15. Les cavités présentant un rapport inférieur sont plutôt sujettes aux effondrements localisés.

IV.2.2 Intensité du phénomène

L'intensité d'un phénomène traduit l'ampleur de l'impact subit par le secteur affecté par le phénomène. Elle peut également être estimée en tenant compte des difficultés et du coût des mesures qu'il conviendrait d'engager pour prévenir la survenance du phénomène ou réparer les dommages causés par le phénomène.

La répercussion d'un phénomène sur son environnement sera plus ou moins forte selon le contexte initial de la zone où prend naissance le phénomène (caractéristiques géométriques et géotechniques du site). Par exemple, l'intensité de l'effondrement d'une cavité haute sous plafond sera beaucoup plus importante que celle d'une cavité de faible hauteur. Dans cet exemple, le volume de vide à compenser croît avec la hauteur de voûte, donc les répercussions en surface du mouvement de terrain sont plus conséquentes. D'autres facteurs sont également à prendre en compte comme le volume de vide, la profondeur de la cavité ou encore l'épaisseur et la nature du recouvrement.

L'intensité d'un phénomène peut donc être estimée en jugeant le contexte et les caractéristiques des vides pouvant conduire à des mouvements de terrain.

IV.2.2.1 Affaissement

L'impact d'un affaissement à la surface du terrain se traduit par la formation d'une dépression plus ou moins prononcée, avec une mise en pente du sol en bordure du phénomène et la manifestation d'un mouvement vertical général (mise en pente plus significative en bordure de cuvette et amplitude des déformations verticales plus forte au centre). Les dégâts aux biens sont donc liés aux déformations différentielles verticales subies et aux efforts d'extension et de compression qui s'exercent aux points de courbure entraînant la mise en pente du terrain :

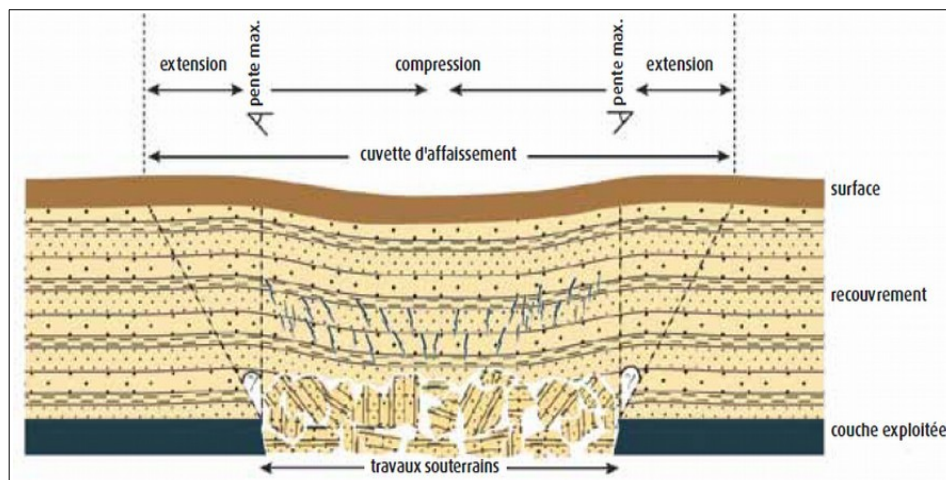


Figure IV.3: schéma d'un mécanisme d'affaissement (Guide PPRN, 2012).

L'ampleur des déformations de terrain dépend de plusieurs facteurs. Les principaux sont la hauteur de vide (cavité de très faible hauteur sous plafond ou vide résiduel non remblayé), l'épaisseur du recouvrement de la cavité (estimation de la compensation du vide par le foisonnement des matériaux), l'étendue de la cavité, la méthode d'exploitation, le pendage stratigraphique, la présence de failles, etc. Plus ces facteurs apparaissent défavorablement, plus la mise en pente du terrain peut être prononcée avec une intensité résultante qui s'élève. Dans le cas d'affaissement lié à des cavités de faible profondeur dont l'étendue est limitée, la valeur de la mise en pente est difficile à apprécier. Il a été choisi de définir un niveau d'intensité unique, de classe « Très limitée ».

Classe d'intensité	Description
Très limitée	Effondrements auto-remblayés à proximité immédiate de la surface (« flache » de profondeur centimétrique à décimétrique)

La classe d'intensité « Très limitée » est traduite par un indice « a » dans la notation de l'aléa.

IV.2.2.2 Effondrement localisé

Un effondrement localisé traduit la formation d'un fontis dont le diamètre peut varier de quelques décimètres à plusieurs mètres, voire plus. Le phénomène entraîne donc un trou en surface, avec un décrochement de terrain plus ou moins redressé (bordure en forme évasée liée au talutage naturel du terrain). Sa profondeur peut varier en fonction de la réception et du calage naturel des matériaux au fond de la cavité (stabilisation et talutage naturel des matériaux) et de la compensation du vide par le foisonnement sous la voûte qui a cédé.

Les dégâts dus à un effondrement localisé sont principalement liés aux graves défauts de portance qui peuvent survenir au droit du phénomène (par exemple, si le phénomène se manifeste sous des fondations). Leur gravité augmentera proportionnellement à l'ampleur de l'effondrement. Ainsi, un bâti touché par un fontis très localisé peut subir des dommages équivalents à un tassement différentiel alors qu'un fontis plus important (plusieurs mètres de diamètre) peut infliger des dégâts plus conséquents aux structures du bâti, voire une ruine de la construction.

L'intensité des effondrements localisés est définie selon l'importance des phénomènes. Elle est hiérarchisée en trois classes exprimées en fonction du diamètre des effondrements.

Classe d'intensité	Diamètre de l'effondrement (en mètres)
Limitée	$\emptyset < 5 \text{ m}$
Modérée	$5 \text{ m} < \emptyset < 10 \text{ m}$
Élevée	$\emptyset > 10 \text{ m}$

Tableau IV.1: Classe intensité « effondrement localisé »

L'intensité de l'effondrement localisé est établie en rapport avec le diamètre du fontis en surface Df . D'après le retour d'expérience de l'INERIS (Didier, 2010), le diamètre de cheminée de fontis D s'établit généralement entre 0,4 et 0,5 fois la largeur de la galerie a où il se forme. Il est également dépendant de l'épaisseur de la couverture meuble en surface. Dans le cas présent, une valeur moyenne h de 2 m de matériaux meubles de surface est retenue (voir IV.2.1). Sachant que ces terrains présentent des qualités géomécaniques médiocres, avec une pente d'équilibre α (talutage naturel) qui a été évaluée à 30° . Ceci aboutit à la prise en compte d'un recul L de 1,15 m de part et d'autre des parois de la cheminée. En conséquence :

- un fontis de diamètre $< 5 \text{ m}$ en surface se produit quand la distance a est inférieure 5,4 m
- un fontis de diamètre compris entre 5 et 10 m en surface se produit quand la distance a est comprise entre 5,4 et 15,2 m
- un fontis de diamètre $> 10 \text{ m}$ en surface se produit quand la distance a est supérieur à 15,2 m.

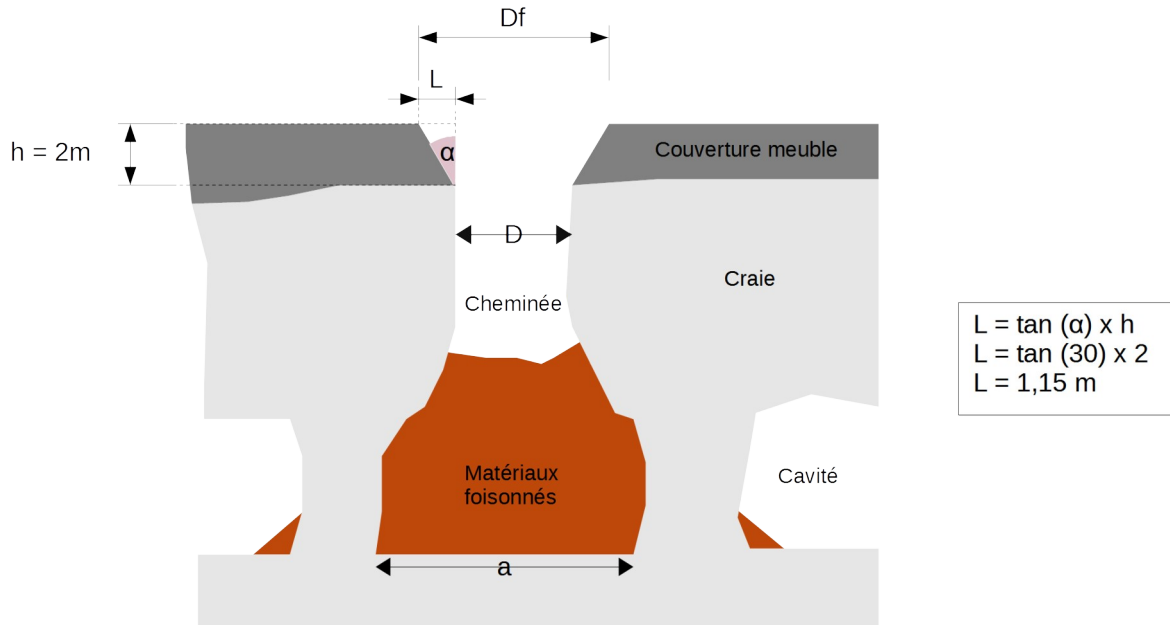


Figure IV.4: Largeur de fontis attendu en fonction de la portée entre piliers

Ces valeurs sont données à titre indicatif. Des situations particulières peuvent se présenter, notamment dans le cas de remontée de fontis selon des fissurations verticales qui peuvent faire dépasser le rapport largeur de galerie a / diamètre de fontis D .

Dans un scénario de ruine d'un pilier, cette formule peut être également appliquée, en prenant comme distance a la distance séparant les piliers situés de part et d'autre du pilier ruiné.

IV.2.2.3 Effondrement généralisé

Un effondrement généralisé (ou en masse) traduit un phénomène d'étendue importante, voire très importante, pouvant concerner l'intégralité d'une cavité. Il est lié à l'état géotechnique général des cavités, dont en particulier les taux de défrètement, la qualité des points d'appui (piliers, bordures des cavités), les caractéristiques du recouvrement (épaisseur, nature des matériaux), la résistance de la roche (valeur connue ou ordre de grandeur estimé), la fissuration, etc. Le phénomène peut très fortement chahuter le sol en provoquant d'importants décrochements à la surface du terrain (plusieurs mètres), jusqu'à conduire à une situation chaotique.

De tels effondrements peuvent entraîner la ruine des biens situés en surface. Les dégâts peuvent donc être très dommageables et les parades pour s'en prémunir demandent la mise en œuvre de moyens lourds (par exemple : comblement intégral de cavité).

L'intensité d'un effondrement généralisé est donc systématiquement considérée « Élevée ».

Classe d'intensité	Description
Élevée	Effondrement en masse de la surface

Tableau IV.2: Classe intensité « effondrements généralisés »

IV.2.3 Probabilité d'occurrence

Les mouvements de terrain sont des phénomènes non périodiques. Ils sont quasiment imprévisibles dans le temps et ne correspondent pas à une période de retour. Ils évoluent généralement lentement, sur de longues périodes, et peuvent connaître de brusques accélérations. Dans le domaine des cavités souterraines, cette lente évolution correspond au vieillissement et à la dégradation naturelle inéluctable des cavités. Elle se manifeste de façon plus ou moins prononcée en fonction des caractéristiques géotechniques des édifices. Les structures supportant ces derniers se fragilisent ainsi petit à petit, avec en phase ultime des phénomènes de rupture mécanique localisée ou généralisée selon les cas.

Dans le cadre des mouvements de terrain, la notion de probabilité d'occurrence est ramenée à la prédisposition d'un site à un type de rupture. L'expertise géotechnique des cavités et l'analyse des secteurs concernés par la présence avérée ou supposée de vides permettent d'établir un bilan sur la prédisposition d'un site à la rupture. Les critères de jugement intervenant dans ce bilan sont essentiellement géotechniques (fissuration, taux de défruitement, état des piliers, cloches de fontis, présence d'eau et sensibilité des matériaux à l'eau, etc.).

IV.2.3.1 Probabilité d'occurrence pour les affaissements

La prédisposition d'un site au phénomène d'affaissement est généralement liée à la nature de la cavité, aux conditions de remblaiement des parties comblées, au contexte encaissant.

- nature des cavités (hauteur de voûte, forme des cavités) ,
- profondeur des cavités et nature du recouvrement) ,
- nature de la roche et résistance connue ou estimable par observation ,
- comblement par bourrage de remblais et estimation des vides résiduels au niveau de la voûte ,
- état géotechnique connu du site ,
- présence d'eau ,
- etc.

L'appréciation de ces facteurs, sur la base des investigations réalisées préalablement (étude de terrain, enquêtes et exploitation de la bibliographique), permet d'estimer à dire d'expert la prédisposition d'un site aux affaissements de terrain.

Le tableau suivant présente les critères retenus pour la qualification de la prédisposition aux affaissements. **Dès qu'un facteur (hors épaisseur de recouvrement) est dépassé, une probabilité d'occurrence supérieure doit être considérée.**

Pour rappel, ces critères s'appliquent sur les cavités présentant un rapport **H/W** supérieur à 15 (voir IV.2.1).

Probabilité d'occurrence	Critères
Faible	<p style="text-align: center;">Épaisseur de recouvrement supérieure à 10 mètres.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pas de fissuration mécanique des piliers. • Fissures géologiques rares et peu développées tolérées au niveau des piliers, sous réserve qu'elles ne mettent pas en jeu la stabilité de la cavité. • Fissures mécaniques rares et peu développées tolérées au niveau de la voûte, sous réserve qu'elles ne mettent pas en jeu la stabilité de la cavité. • Fissures géologiques peu nombreuses tolérées au toit, sous réserve qu'elles ne mettent pas en jeu la stabilité de la cavité. • Décollement de voûte localisé toléré (faible superficie impactée) sans autre signe environnant de fragilité. • Chute de toit localisée et peu conséquente tolérée dans la tranche de recouvrement d'épaisseur supérieure à 10 mètres. • Karst peu développé. • Portées entre appuis inférieures à 5 mètres. • Taux de défruitement inférieur à 60 % • Pas de présence d'eau. • Cavité totalement remblayée depuis la surface avec certitude de la suppression des vides (par exemple voûte effondrée puis comblément jusqu'au niveau du terrain naturel). <p>À la prise en compte de ces critères s'ajoute l'appréciation géotechnique générale que porte l'expertise sur la cavité.</p>
Moyenne	<p style="text-align: center;">Épaisseur de recouvrement comprise entre 5 mètres et 10 mètres.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pas de fissuration mécanique ou de fissuration géologique majeure des piliers. • Karst peu développé au niveau de la voûte et pas de karst au niveau des piliers. • Fissures géologiques et mécaniques rares tolérées au niveau de la voûte, sous réserve qu'elles ne mettent pas en jeu la stabilité de la cavité. Les Fissures géologiques sont plus facilement tolérées au toit selon le contexte de la cavité, notamment du type de piliers. Pour les fissures mécaniques, il est préférable de chercher à identifier s'il s'agit de fissures contemporaines de l'exploitation (libération de contraintes au moment de l'extraction de la roche ou fissures post-exploitation liées à des mouvements de terrain). • Cloche de fontis d'origine ancienne et d'apparence stabilisée. • Décollement de voûte localisé toléré (faible superficie impactée) sans autre signe environnant de fragilité. • Chute de toit localisée et peu conséquente tolérée dans la tranche de recouvrement d'épaisseur supérieure à 5 mètres. • Portées entre appuis comprises entre 5 mètres et 8 mètres. • Taux de défruitement compris entre 60 % et 75 % • Présence d'eau temporaire tel que rejet pluvial. • Entrée de cavité remblayée (partie débouchant à ciel ouvert). <p>À la prise en compte de ces critères s'ajoute l'appréciation géotechnique générale que porte l'expertise sur la cavité.</p>
Forte	<p style="text-align: center;">Épaisseur de recouvrement inférieure à 5 mètres.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fissures fréquentes du toit avec forte proportion de fissures mécaniques. • Fissuration mécanique des piliers, notamment fissuration subverticale. • Fort élancement des piliers (aspect visuel du rapport hauteur / section des piliers).

Forte	<ul style="list-style-type: none"> • Présence de conduits karstiques importants recoupant les piliers (forte réduction de la résistance mécanique des piliers). • Décollement de voûte très significatif (masse décollée de la voûte avec indices de déplacements centimétriques). • Cloche de fontis d'apparence active. • Zone d'effondrement historique. • Fissures géologiques fréquentes et/ou développées. • Zone de chutes de toit dans la tranche de recouvrement inférieure à 5 mètres, ou effondrement plus conséquent quelle que soit l'épaisseur du recouvrement. • Portées entre appuis supérieures à 8 mètres. • Taux de défruitement supérieure à 75 %. • Présence d'eau permanente. • Cavité remblayée par bourrage sans information précise sur l'agencement des remblais. <p>À la prise en compte de ces critères s'ajoute l'appréciation géotechnique générale que porte l'expertise sur la cavité.</p>
--------------	--

Tableau IV.3: Probabilité d'occurrence « affaissements »

IV.2.3.2 Probabilité d'occurrence pour les effondrements localisés

La prédisposition d'un site aux effondrements localisés est plutôt liée à la présence de secteurs localement dégradés dans les cavités. Plusieurs types d'effondrements localisés peuvent se produire : chutes de toit, rupture d'un pilier, débouillage d'orifices (karst ou puits). La prédisposition aux effondrements localisés est donc estimée en notant toutes anomalies géotechniques pouvant fragiliser les édifices :

- présence de cloche de fontis ,
- fissuration de la voûte ,
- nature des terrains de recouvrement ,
- épaisseur du recouvrement ,
- fissuration des piliers ,
- estimation de la répartition des charges entre les piliers, résistance apparente des piliers ,
- présence d'eau et sensibilité de la roche à l'eau ,
- portées entre appuis (longueur de voûte non soutenue) et taux de défruitement ,
- présence de conduits karstiques au niveau des voûtes ,
- nature des matériaux de remblaiement des puits et stabilisation de ces derniers ,
- etc ,

L'appréciation de ces facteurs sur la base de l'inspection géotechnique permet d'estimer à dire d'expert la prédisposition d'un site aux effondrements localisés.

Dans le cas des effondrements localisés, les taux de défruitement donnent une indication supplémentaire sur les espaces de vides potentiellement présents entre les piliers. Ils sont donc exploités en complément des portées entre appuis mesurables sur les plans. Plus une surface de vide est importante entre des piliers, plus la voûte d'une cavité est théoriquement fragile, car elle a tendance à se décompresser plus vite et elle est exposée à des efforts de flexion plus conséquents. La valeur des taux de défruitement permet donc de juger, à l'échelle d'une cavité, la plus ou moins forte prédisposition d'un site à l'apparition de cloches de fontis, qui peuvent ensuite progresser jusqu'à la surface, ou à l'effondrement localisé de la voûte par rupture soudaine.

Le tableau suivant présente les critères retenus pour la qualification de la prédisposition aux effondrements localisés. **Dès qu'un facteur (hors épaisseur de recouvrement) est dépassé, une probabilité d'occurrence supérieure doit être considérée.**

Pour rappel, ces critères s'appliquent sur les cavités présentant un rapport **H/W** inférieur à 15 (voir IV.2.1).

Probabilité d'occurrence	Critères
Faible	<p style="text-align: center;">Épaisseur de recouvrement supérieure à 10 mètres.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pas de fissuration mécanique des piliers. • Fissures géologiques rares et peu développées tolérées au niveau des piliers, sous réserve qu'elles ne mettent pas en jeu la stabilité de la cavité. • Fissures mécaniques rares et peu développées tolérées au niveau de la voûte, sous réserve qu'elles ne mettent pas en jeu la stabilité de la cavité. • Fissures géologiques peu nombreuses tolérées au toit, sous réserve qu'elles ne mettent pas en jeu la stabilité de la cavité. • Décollement de voûte localisé toléré (faible superficie impactée) sans autre signe environnant de fragilité. • Chute de toit localisée et peu conséquente tolérée dans la tranche de recouvrement d'épaisseur supérieure à 10 mètres. • Karst peu développé. • Portées entre appuis inférieures à 5 mètres. • Taux de défruitement inférieur à 60 % • Pas de présence d'eau. <p>À la prise en compte de ces critères s'ajoute l'appréciation géotechnique générale que porte l'expertise sur la cavité.</p>
Moyenne	<p style="text-align: center;">Épaisseur de recouvrement comprise entre 5 mètres et 10 mètres.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pas de fissuration mécanique ou de fissuration géologique majeure des piliers. • Karst peu développé au niveau de la voûte et pas de karst au niveau des piliers. • Fissures géologiques et mécaniques rares tolérées au niveau de la voûte, sous réserve qu'elles ne mettent pas en jeu la stabilité de la cavité. Les Fissures géologiques sont plus facilement tolérées au toit selon le contexte de la cavité, notamment du type de piliers. Pour les fissures mécaniques, il est préférable de chercher à identifier s'il s'agit de fissures contemporaines de l'exploitation (libération de contraintes au moment de l'extraction de la roche ou fissures post-exploitation liées à des mouvements de terrain). • Cloche de fontis d'origine ancienne et d'apparence stabilisée. • Décollement de voûte localisé toléré (faible superficie impactée) sans autre signe environnant de fragilité. • Chute de toit localisée et peu conséquente tolérée dans la tranche de recouvrement d'épaisseur supérieure à 5 mètres. • Portées entre appuis comprises entre 5 mètres et 8 mètres. • Taux de défruitement compris entre 60 % et 75 % • Présence d'eau temporaire tel que rejet pluvial. <p>À la prise en compte de ces critères s'ajoute l'appréciation géotechnique générale que porte l'expertise sur la cavité.</p>

Forte	<p style="text-align: center;">Épaisseur de recouvrement inférieure à 5 mètres.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fissures fréquentes du toit avec forte proportion de fissures mécaniques. • Fissuration mécanique des piliers, notamment fissuration subverticale. • Fort élancement des piliers (aspect visuel du rapport hauteur / section des piliers). • Présence de conduits karstiques importants recoupant les piliers (forte réduction de la résistance mécanique des piliers). • Décollement de voûte très significatif (masse décollée de la voûte avec indices de déplacements centimétriques). • Cloche de fontis d'apparence active. • Zone d'effondrement historique. • Fissures géologiques fréquentes et/ou développées. • Zone de chutes de toit dans la tranche de recouvrement inférieure à 5 mètres, ou effondrement plus conséquent quelle que soit l'épaisseur du recouvrement. • Portées entre appuis supérieures à 8 mètres. • Taux de défruitement supérieure à 75 %. • Présence d'eau permanente. <p>À la prise en compte de ces critères s'ajoute l'appréciation géotechnique générale que porte l'expertise sur la cavité.</p>
--------------	---

Tableau IV.4: Probabilité d'occurrence « effondrements localisés »

IV.2.3.3 Probabilité d'occurrence pour les effondrements généralisés

Les effondrements généralisés peuvent concerner essentiellement les anciennes carrières étendues, **exploitées par la technique des chambres et piliers**. La prédisposition du phénomène répond en partie aux mêmes critères que pour les effondrements localisés (état des piliers), avec un facteur supplémentaire d'importance qui concerne les contraintes s'exerçant sur un grand nombre de piliers. Ces derniers fortement sollicités par le poids de la voûte à supporter peuvent avoir atteint leur limite de résistance, voire pour certains déjà présenter un état de ruine avancé. Des ruptures sont alors possibles (ruptures simultanées de plusieurs piliers ou rupture individuelle de piliers entraînant par « effet de château de cartes » la chute d'autres éléments porteurs.

Les critères « taux de défruitement » et « fissuration des piliers » sont particulièrement décisifs dans l'estimation de la prédisposition d'une cavité à un effondrement généralisé :

- Les taux de défruitement peuvent intervenir pour beaucoup dans l'exposition d'une cavité souterraine aux phénomènes d'effondrements généralisés, notamment en présence de matériaux peu résistants à la compression et selon les épaisseurs de recouvrement. Ainsi, plus l'épaisseur de recouvrement est importante, plus le poids de la voûte supportée par les piliers est conséquent. Les contraintes mécaniques subies par les piliers augmentent donc avec l'épaisseur de recouvrement des cavités. En cas de section insuffisante, la résistance des piliers s'opposant au poids de voûte peut ainsi être dépassée, ce qui peut conduire à l'écrasement des piliers, puis à une rupture généralisée.

Le taux de défruitement est le ratio entre la surface des vides et la surface de l'exploitation. Plus sa valeur est élevée, plus la surface portante restante (piliers) est faible. Sachant qu'à taux de défruitement égal, l'aptitude portante des piliers en place diminue au fur et à mesure que l'épaisseur de recouvrement augmente, il existe donc une relation entre la prédisposition à l'effondrement massif d'une cavité et son taux de défruitement.

- Le diagnostic géotechnique des cavités permet de constater l'état général de fissuration des piliers et d'identifier si un mouvement de terrain généralisé est possible par rupture simultanée, ou par enchaînement, de plusieurs d'entre eux. Il est ainsi tenu compte de l'état mécanique individuel de chaque

pilier, mais également de l'état général de stabilité des cavités, en cherchant à identifier si des accidents mécaniques de plus grande extension sont présents. Cela conduit à considérer l'état général des piliers par secteurs de cavité.

Ces points demandent donc d'adapter les critères « taux de défrètement », « recouvrement » et « fissuration des piliers » pour l'évaluation des prédispositions aux effondrements généralisés.

Deux cas se présentent :

1. Cas des cavités en bon état apparent, sans signe de déstabilisation :
 - pas de présence d'eau temporaire ou permanente
 - pas de pilier présentant de fissuration importante
2. Cas des cavités dégradées :
 - présence d'eau temporaire ou permanente
 - pilier ou groupe de piliers présentant une fissuration importante.

Recouvrement	< 10 m	10 à 20 m	> 20 m
Taux de défrètement			
< 50 %			Faible
50-55 %		Faible	Faible
55-60 %		Faible	Faible
60-65 %	Faible	Faible	Moyenne
65-70 %	Faible	Moyenne	Moyenne
70-75 %	Faible	Moyenne	Moyenne
75-80 %	Moyenne	Moyenne	Forte
80-85 %	Moyenne	Forte	Forte
> 85 %	Forte	Forte	Forte

Tableau IV.5: Probabilité d'occurrence « effondrements généralisés » – cas 1

Recouvrement	< 10 m	10 à 20 m	> 20 m
Taux de défrètement			
< 50 %	Faible	Faible	Faible
50-55 %	Faible	Faible	Moyenne
55-60 %	Faible	Moyenne	Moyenne
60-65 %	Faible	Moyenne	Forte
65-70 %	Moyenne	Forte	Forte
70-75 %	Moyenne	Forte	Forte
75-80 %	Forte	Forte	Forte
80-85 %	Forte	Forte	Forte
> 85 %	Forte	Forte	Forte

Tableau IV.6: Probabilité d'occurrence « effondrements généralisés » – cas 2

À cela a été ajouté dans les critères de probabilité d'occurrence « forte » les **cavités inaccessibles**, mais de présence certaine, afin d'aller dans le sens de la sécurité.

IV.2.3.4 Probabilité d'occurrence en cas de « présomption de vides »

Certaines cavités signalées sont inaccessibles car condamnées et peu d'informations sont disponibles à leur sujet. Dans ce cas, seuls des témoignages ou des plans très approximatifs anciens permettent de se faire une idée sur la présence possible de vide et sur leur extension, en cherchant parallèlement d'autres indices de confirmation.

Des indices de terrain seuls peuvent également traduire la présence possible de cavités oubliées (par exemple dépressions de terrain, vestiges d'installation de surface, etc.), sans qu'aucun témoignage ne le confirme.

Dans ces cas de figure, la présence de cavité ne peut donc pas être affirmée avec certitude, ni localisée, même lorsque des témoignages apportent quelques précisions. Seule une présomption de vides peut être mise en avant, avec à la clé la détermination d'une probabilité d'occurrence de présomption de vide (ou prédisposition à la rupture). Il convient toutefois de pondérer cette dernière en intégrant à la démarche les lacunes d'information. Cette nuance permet de tenir compte des incertitudes et des imprécisions apparaissant sur de tels sites, sans minimiser les règles sécuritaires devant encadrer de tels cas de figure.

La présomption de vide est graduée en trois niveaux : improbable, probable et très probable. Elle est directement corrélée à la probabilité d'occurrence selon le tableau ci-dessous :

Présomption	Probabilité d'occurrence
Improbable	Faible
Probable	Moyenne
Très probable, voire certaine	Forte
Une cavité de présence certaine n'est pas une présomption de vide.	-

Tableau IV.7: Probabilité d'occurrence « présomption de vides » retenue

IV.2.4 Hiérarchisation de l'aléa lié à la présence de cavités souterraines

Le niveau d'aléa est évalué en croisant l'intensité établie du phénomène avec sa probabilité d'occurrence (ou prédisposition à la rupture). Le niveau d'aléa croît proportionnellement à l'élévation de ces deux facteurs, comme schématisé par le tableau IV.8.

L'étude menée à l'échelle du territoire (prospections de terrain, visites de cavités, enquêtes de terrain, exploitation d'archives, exploitation de la bibliographie, études techniques existantes) permet d'évaluer de façon la plus objective possible les facteurs d'intensité et de probabilité d'occurrence. Cette analyse globale permet une meilleure connaissance des cavités présentes sur le territoire, avec toutefois certaines zones de doutes qui ne peuvent pas être levées. L'aléa mouvement de terrain lié à la présence de cavités souterraines a donc été cartographié en intégrant cet ensemble d'informations et en s'adaptant aux doutes subsistants. Sa hiérarchisation s'est appuyée sur la grille de traduction suivante.

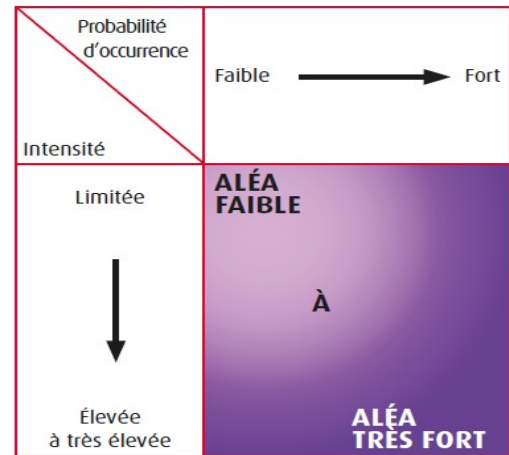


Tableau IV.8: Échelle de hiérarchisation de l'aléa lié à la présence de cavités souterraines selon le guide méthodologique

Probabilité d'occurrence	Faible	Moyenne	Forte
Intensité			
Très limitée	Faible (F1a)	Faible (F1a)	Moyen (F2a)
Limitée	Faible (F1)	Moyen (F2)	Moyen (F2)
Modérée	Moyen (F2)	Moyen (F2)	Fort (F3)
Élevée	Moyen (F2)	Fort (F3)	Très fort (F4)

Tableau IV.9: Hiérarchisation de l'aléa lié à la présence de cavités souterraines

Un indice « a » est utilisé pour cartographier les zones liées à une intensité très limitée (phénomène d'affaissement). L'aléa lié à la présomption de vide est cartographié à l'aide d'un indice « p ».

À cette grille de hiérarchisation de l'aléa, nous ajouterons le cas de figure des cavités comblées par injection de coulis de ciment dans le respect des règles de l'art (présence de sondage de contrôle notamment). L'aléa est ramené à un niveau négligeable au niveau des secteurs ainsi traités puisque le vide est supprimé à l'aide d'un matériau « plein » de substitution. Un niveau d'aléa négligeable est donc considéré dans ce cas de figure. Cet affichage permet de mémoriser les travaux réalisés et de tenir informer les propriétaires sur leur existence.

Catégorie	Aléa
Cavité comblée par injection de coulis de ciment avec clavage de finition et forage de contrôle	Négligeable (F0)

Tableau IV.10: Aléa lié aux secteurs comblés par injection

IV.2.5 Les tranchées et ouvrages militaires annexes

Les tranchées de surface et les cratères d'explosion des sapes ont été remblayés avec des matériaux divers à la sortie de la guerre. Des tassements peuvent y survenir du fait de l'évolution des matériaux et notamment des matières putrescibles.

Les abris de tranchée souterrains (type Dogout), sont peu représentés sur les cartes de tranchées, vraisemblablement du fait de leur grand nombre qui peut nuire à la lisibilité de la carte. Si certains abris sont connus grâce à des documents mentionnant leurs coordonnées, ils sont loin d'être exhaustifs. Dans leur modèle standard, ces abris rectangulaires (2 x 10 m, une hauteur de 2 m à une profondeur de 7 à 8 m) se trouvent dans une bande de 10 m le long des tranchées. Des abris plus grands peuvent exister. Afin de tenir compte de ces incertitudes, une bande d'aléas de 20 m de largeur est présente le long des tranchées cartographiées, augmenté de la marge d'incertitude. Dans la zone des remparts d'Arras, cette bande n'est pas présente, de nombreux abris (caves, boves) étant possibles hors des tranchées.

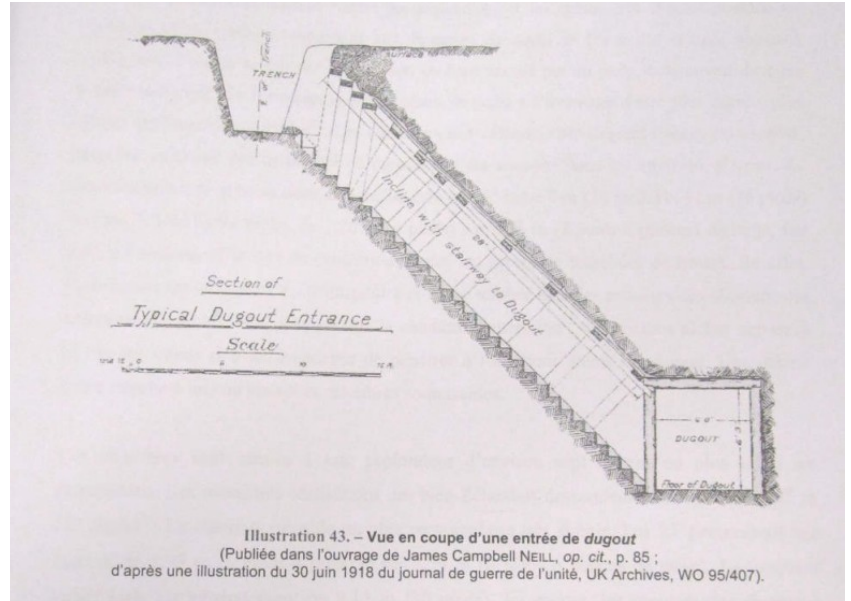


Figure IV.5: Vue en coup d'une entrée de dogout. Source: A.Byledbal

Afin de tenir compte des phénomènes de tassements et effondrements lié à ces ouvrages, un aléa spécifique de tranchées est cartographié.

Catégorie	Aléa
Zone de tranchées avec cavités annexes vraisemblable	Faible (T1)

Tableau IV.11: Aléa lié aux secteurs de tranchées

IV.3 CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA

IV.3.1 Indices utilisés

Outre la couleur, les zones d'aléa d'effondrement seront repérées par un indice alphanumérique :

- Négligeable : F0
- Faible : F1 et F1a
- Moyen : F2 et F2a
- Fort : F3
- Très fort : F4

Un indice « a » est utilisé pour cartographier les zones liées à une intensité très limitée. L'aléa lié à la présomption de vide est cartographié à l'aide d'un indice « p ».

L'aléa de tranchées est cartographié avec un indice unique : T1.

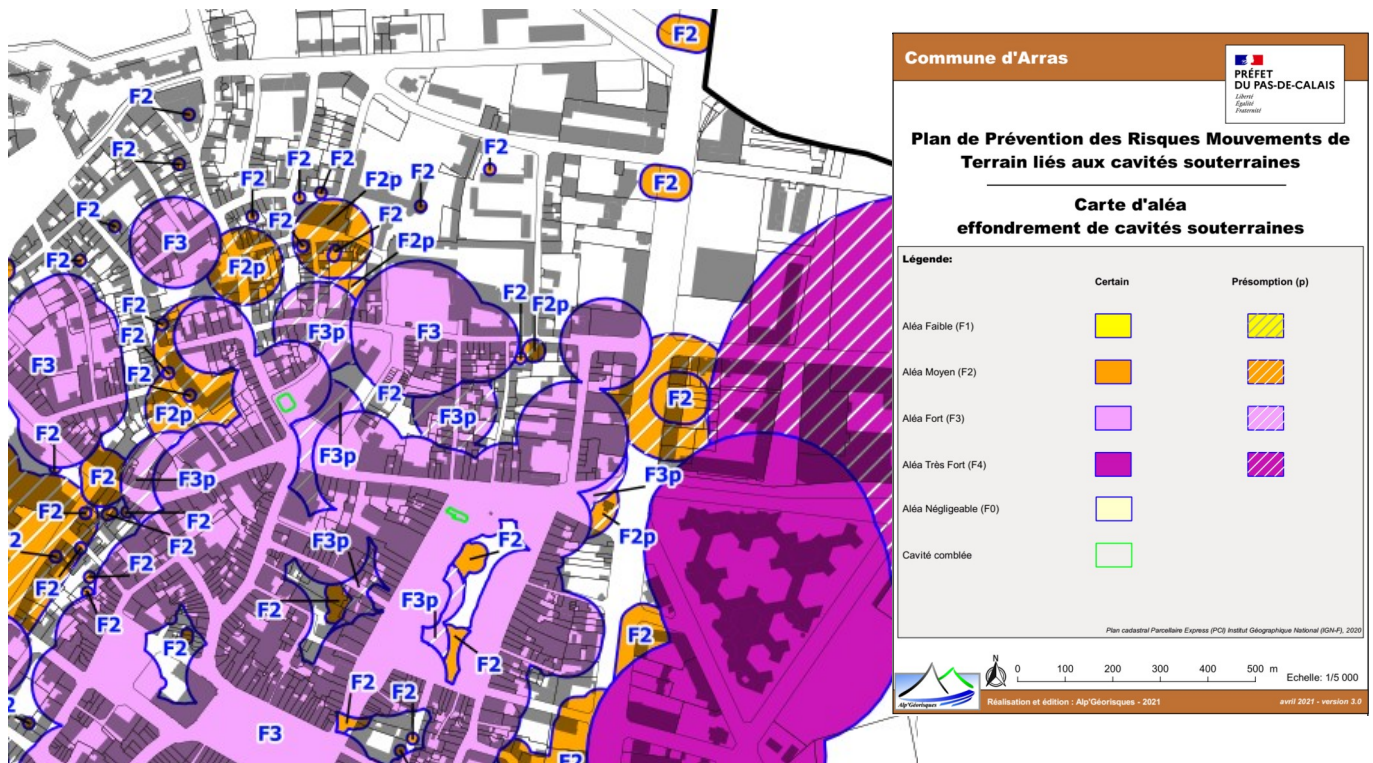


Figure IV.6: Extrait de la carte des aléas sur Arras

IV.3.2 Marge de sécurité

La cartographie de l'aléa représente l'emprise des cavités connues, ainsi qu'une marge de sécurité autour de ces cavités. Cette marge est le résultat de la prise en compte de l'erreur de placement de cavité et la prise en compte de désordres potentiels en dehors de la stricte emprise de la cavité.

IV.3.2.1 Marge d'incertitude – précision de la donnée

Les données (nature et type) recueillies dans le cadre de l'élaboration de la carte d'aléas sont très hétéroclites. Les emprises et la localisation des cavités sont portées sur des plans d'âge et de source variable, voir inconnue.

Différents éléments sont sources d'incertitude :

- pour les données purement descriptives (rapport, correspondance, etc.), les rédacteurs des documents font le plus souvent référence à des numéros de rue et au nom des personnes occupants ou propriétaires des bâtiments. Ces éléments sont aujourd'hui très difficiles à retrouver et demandent des recherches importantes (anciens cadastres, recoupement entre différents documents, état-civil, etc.).
- pour les emprises de cavités, certains documents n'affichent que peu ou pas du tout de point de repère fiable (cadastre, bâti, etc.), et ne possèdent pas toujours une échelle et peuvent être très schématique. Pour certains plans, le repérage quasi inexistant ou lié à une urbanisation totalement modifiée a créé une importante incertitude de positionnement.

Une précision de positionnement a été attribuée à l'ensemble des éléments cartographiés selon la grille IV.12 issue de la nomenclature BRGM. L'imprécision est traduite par une enveloppe élargie dans le périmètre de l'aléa, aboutissant à une **marge de sécurité**.

Code	Définition	Zone d'aléa
très précis	Précision <5m	Augmenté entre 0 et 2,5 m
précis	Précision entre 5 et 25m	Augmenté entre 2,5 et 13 m
approché	Précision entre 25 et 250m	Augmenté entre 13 et 125 m
imprécis	Précision > 250 m	Augmenté au-delà de 125 m
milieu de rue	Pour les éléments dont le seul renseignement est la rue	Zone de présomption de vide comprenant a minima l'emprise cadastrale de la voirie concernée et une distance variable sur les parcelles adjacentes en fonction du type de cavité attendue.
centroïde de commune	Précision > 1000 m Pour les éléments dont le seul renseignement est la commune, le point est placé au centroïde de commune.	Pas de zone d'aléa
zone	Zone de présence de cavité insuffisamment précise (suspicion de cavité)	Zone de présomption de vide correspondant strictement à la zone

Tableau IV.12: Précision de positionnement des éléments cartographiés

La valeur de la précision s'entend comme le diamètre du cercle dans lequel se trouve vraisemblablement l'objet cartographié. Par exemple, dans le cas d'un placement « précis », un indice ponctuel cartographié se trouve à une distance maximale estimée de 12,5 m à partir du point, soit 2,5 mm sur une cartographie au 1/5 000.

IV.3.2.2 Marge de recul – angle d'influence

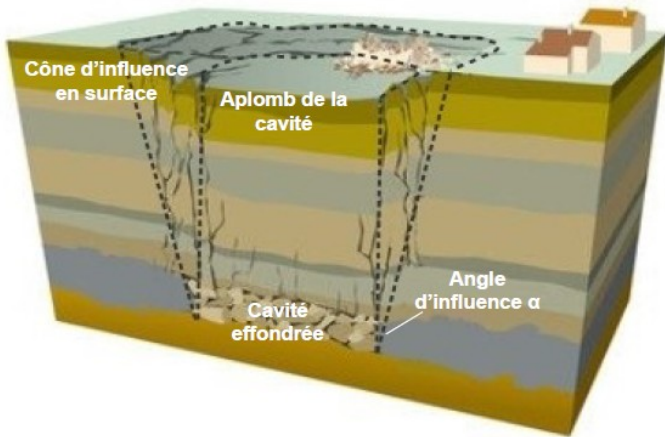


Figure IV.7: schéma de l'angle d'influence (Graphies/MTES/AGR).



Figure IV.8: exemple d'angle d'influence (photo d'illustration prise hors de la zone d'étude).

L'aléa effondrement de cavités souterraines déborde systématiquement de l'emprise réelle des cavités justifiant son affichage. Il est tenu compte de l'impact que peut avoir un effondrement en bordure de carrière. En s'effondrant, le sol peut céder sous un certain angle d'influence, puis à long terme cherchera une nouvelle pente d'équilibre en régressant sur la bordure de l'effondrement. En cas de rupture en limite d'une cavité, l'emprise du mouvement de terrain empiètera donc forcément au-delà de l'emprise réelle de la cavité (extension latérale supérieure à l'emprise réelle de la cavité). En surface, l'effondrement se fait ressentir au-delà de l'emprise de la cavité en développant un cône d'influence. Le schéma et la photo ci-dessus traduisent l'angle d'influence pouvant s'appliquer en bordure de cavité.

L'angle d'influence α s'applique à partir du sol de la cavité. Sa projection (L) en surface répond à une règle trigonométrique. Elle est égale au produit de la tangente de la valeur de l'angle ($\text{tg } \alpha$) par la profondeur (P) de la cavité ($\text{tg } \alpha = \text{coté opposé (L)} / \text{coté adjacent (P)}$), soit $L = P \times \text{tg } \alpha$.

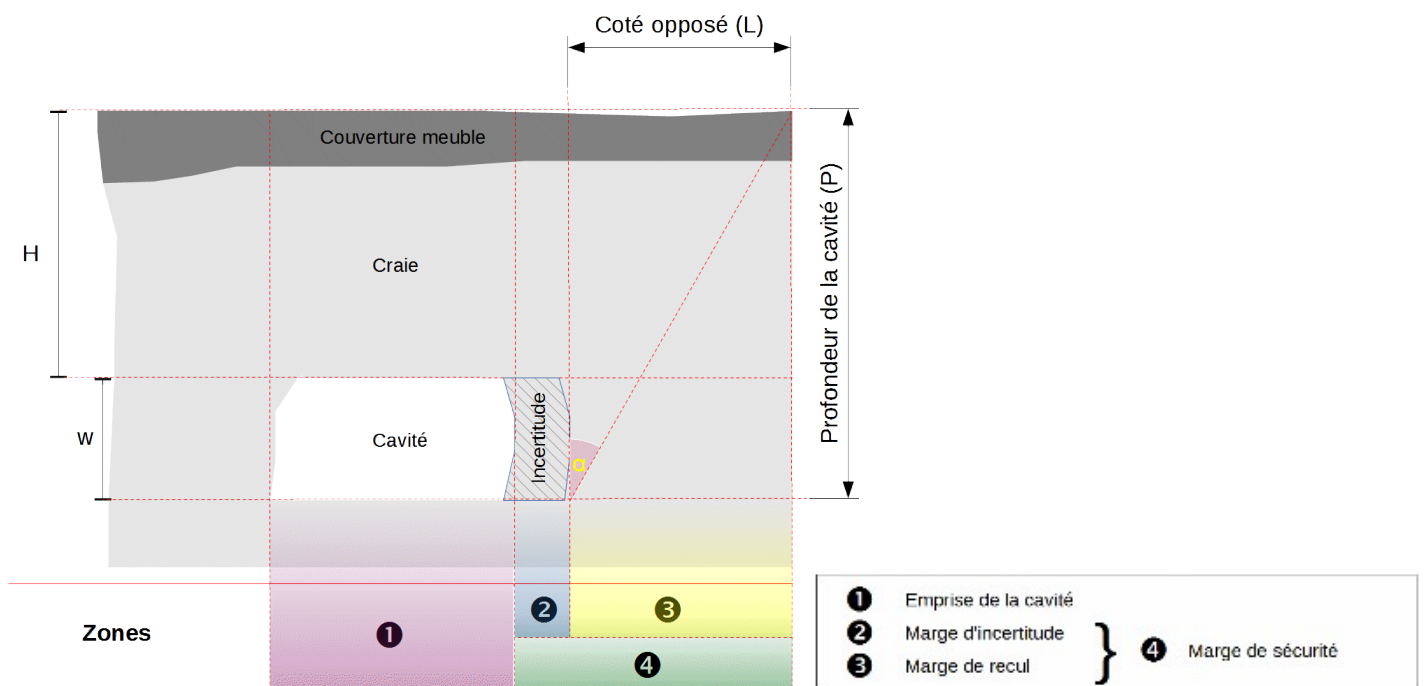


Figure IV.9: Paramètre géométrique du calcul de l'angle d'influence et extensions des différentes marges en bordure de cavité.

Aucun effondrement d'importance avec impact latéral n'a été observé sur la zone d'étude. En conséquence, nous ne disposons donc pas d'angle d'influence de référence constaté sur le territoire de l'étude. Dans la pratique, l'angle d'influence appliqué en présence de craie ou de matériaux similaires (mêmes caractéristiques mécaniques) varie généralement entre 20° et 30°. Il peut être porté jusqu'à 45°, lorsque de fortes épaisseurs de matériaux meubles (plusieurs mètres, voire plus d'une dizaine de mètres) recouvrent le substratum (sommet du substratum très altéré, forte épaisseur de limon de surface, etc.).

Un angle de 30° semble plus approprié aux conditions géologiques de la région d'Arras, à la profondeur des cavités présentes et aux caractéristiques mécaniques apparentes de la craie en place. La roche qui a un aspect très tendre s'avère peu résistante et semble très sensible à l'eau (perte de résistance). Il est donc retenu pour être appliqué en périphérie des cavités cartographiées.

Nous retiendrons donc comme largeur de la zone d'influence :

$$L = P \times \tan(30^\circ) = P \times 0,58$$

NB : Dans le cas où nous ne disposons pas d'emprise de cavité, l'angle d'influence n'est pas calculé.

IV.3.3 Principes de représentation

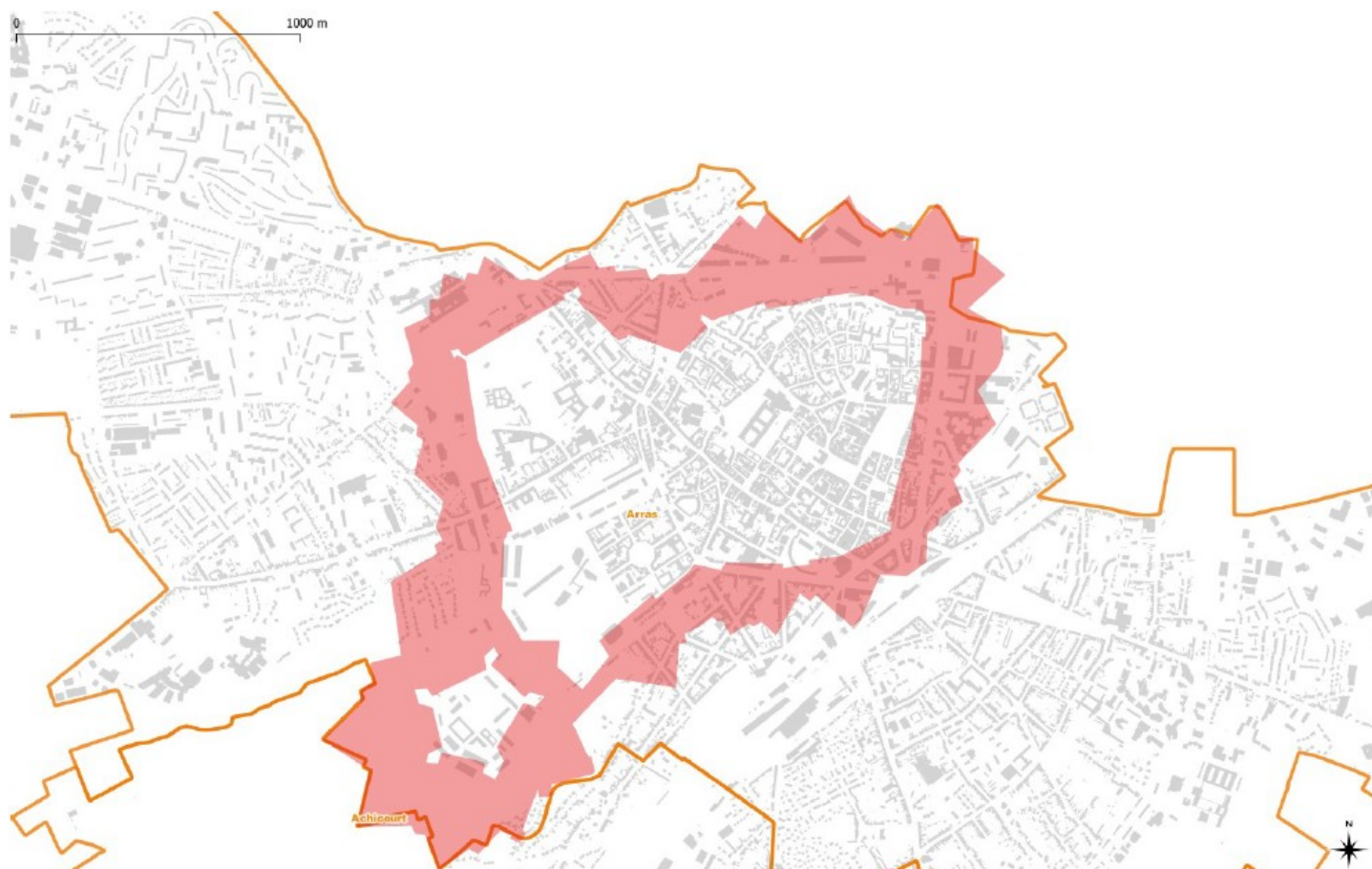


Figure IV.10: Centre-ville historique d'Arras et ses anciens remparts (figuré rouge) issus de la digitalisation de la carte d'État-major de 1826 (XXX70).

La typologie des cavités est basée sur la localisation géographique des cavités. Si dans les anciens remparts, les cavités attendues (boves) ont des dimensions relativement faibles (quelques centaines de mètres carrés), les cavités à l'extérieur des remparts ont des proportions autrement plus importantes (jusqu'à plusieurs milliers de mètres carrés).

IV.3.3.1 Cas des cavités avec emprise, sans profondeur connue

En cas d'absence de données sur la profondeur d'une cavité cartographiée, on se basera sur les cavités de typologie semblable (bove, carrière, galerie, etc.) dans le secteur pour lui affecter une profondeur permettant de calculer la zone d'influence. Si plusieurs cavités se trouvent à proximité, la cote la plus pessimiste est retenue.

IV.3.3.2 Cas des cavités à placement ponctuel

Concernant les cavités non levées (désignation d'une parcelle, d'un numéro de rue, etc.), celles-ci sont cartographiées par un élément ponctuel. Il ne peut pas être appliqué d'angle d'influence puisque nous ne connaissons pas leur contour précis. Dans le cas où on dispose de données suffisamment étayées (rapport de visite, photographie, schéma), la largeur du tampon d'aléa est cartographiée en conséquence. Dans le cas contraire :

- les cavités de type bove, au vu des connaissances acquises, le périmètre de l'aléa est défini par une zone tampon fixe de 30 m à partir du point placé sur la limite parcellaire en bordure de la voie publique. Il a en effet été constaté que ce type de cavité se développe sous les voiries, avec des retours en direction du bâti qui reste relativement limité de l'ordre d'une vingtaine de mètres et que leur tracé ne suit pas toujours strictement les limites parcellaires ,
- à l'extérieur de l'emprise des remparts, au vu de l'emprise des cavités connues (zone de grandes carrières), la zone d'aléa est portée à 100 m.
- Pour les cavités militaires de type « dogout » (voir IV.2.5), en présence de données de localisation, l'emprise de l'aléa est portée à 15 m en sus de la marge d'incertitude. En présence de schéma permettant d'estimer la superficie de vide, la largeur de l'aléa pourra être augmentée en conséquence.

IV.3.3.3 Indices et sondages en l'absence de cavité connue

IV.3.3.3.1 Fontis, descenderie, entrée de cavité

Différents phénomènes ont été recensés en surface. Dans le cas d'un phénomène de type fontis, ainsi que de la découverte d'une entrée de cavité (descenderie, entrée), quand ceux-ci ne peuvent être liés avec certitude (reconnaissance de fontis, étude géotechnique complémentaire, etc.) avec une cavité connue, une **zone d'aléa de présomption de vide** est portée suivant les règles suivantes :

- dans la zone comprise dans les remparts (y compris ceux-ci) : zone tampon 30 m ,
- hors de la zone de rempart : zone tampon de 100 m.

IV.3.3.3.2 Sondage

Les sondages recoupant des vides francs ou remblayés sont qualifiés par une présomption de vide dont la largeur correspond aux règles précitées. Dans le cas particulier de sondages recoupant des cavités dans l'emprise même des fortifications (zone rouge sur la figure IV.10), la largeur de l'aléa est dépendante du type de cavité attendu (voir IV.3.3.5).

IV.3.3.3.3 Anomalie microgravimétrique et affaissement

Pour le cas des anomalies microgravimétriques et des phénomènes d'affaissement, ceux-ci sont traités s'ils se trouvent dans des zones dépourvues de cavités souterraines connues ou de zones de tranchées. La zone d'aléa appliquée sera traitée manuellement en fonction du contexte local (géologie, types de cavité). Pour les affaissements, la mise en pente du terrain et la récurrence du phénomène seront étudiées si ces données sont disponibles.

IV.3.3.3.4 Puits et débouillage de puits

Les puits à eaux encore accessibles et reconnus comme tels ne sont pas portés sur les cartographies. Pour les puits non liés à des cavités connues et qui ne sont pas reconnues (supposé comblé), un aléa d'effondrement est porté sur un diamètre de 6 m, correspondant approximativement au diamètre courant des puits (1,5 m), augmenté d'une distance de recul prenant en compte les matériaux de couverture de faible qualité. Cet aléa correspond à l'éventuel débouillage du puits.

Une particularité a été remarquée dans plusieurs cavités de l'Arrageois, à savoir que des puits sont dits mixtes, dans le sens où il s'agit de puits à eau recoupant des cavités. Ainsi, pour les débouillages de puits dont aucune reconnaissance n'a été réalisée, ils sont présumés liés à une cavité et font l'objet d'un zonage de présomption de vide :

- dans la zone comprise dans les remparts : zone tampon 30 m ,
- hors de la zone de rempart : zone tampon de 100 m.

Dans le cas où des informations pourraient faire état d'un possible niveau de cavité accessible par un puits, la cavité est représentée par ses propres règles de zonage.

IV.3.3.4 Incertitude liée à la continuité de la cavité

On peut trouver plusieurs situations où il existe une incertitude sur la continuité de la cavité :

- les remblais de surface ou de carrière fermant un secteur de la cavité (pas de visibilité sur la paroi à l'arrière du remblai et amorce de galerie) ,
- des secteurs murés (présence d'une discontinuité de matériaux sur une paroi maçonnée par exemple) ,
- pour les cavités non accessibles, les galeries ou paroi non fermées sur les plans exploités (non cartées).

Dans ces cas, des zones tampons viennent s'ajouter à l'emprise d'aléa lié à la cavité pour tenir compte de ces possibles extensions :

- dans la zone comprise dans les remparts : zone tampon 30 m ,
- hors de la zone de rempart : zone tampon de 50 m.

Pour le cas des galeries dont le prolongement ou la distance est connu, mais non accessible (chute de toit, remblais, murés, etc.) et, de ce fait, non cartées, la zone tampon est dimensionnée en fonction des éléments de distance connus et selon un faisceau de 180° dans la direction de la galerie.

IV.3.3.5 Zone des anciennes fortifications

Dans l'emprise même de la zone des fortifications démantelées (zone de couleur brique sur la figure IV.10), des sondages montrent de fortes épaisseurs de remblais ainsi que des vides résiduels (défaut de compactage, tassement différentiel, évolution naturelle des terrains) de faibles hauteurs dans les remblais comblant les fossés. Les remblais des fortifications ne sont pas pris en compte dans la présente étude. Cependant, un aléa de présomption d'effondrement est porté sur les sondages (voir IV.3.3.3) de cette zone présentant des vides francs ou remblayés, concordant vraisemblablement avec la présence de cavité (hauteur et profondeur).

La distance appliquée est de 30 à 100 m suivant le type de cavité attendu : bove ou carrière en chambres et piliers. Seules la profondeur des vides et leur reconnaissance (passage caméra) permettent de le définir avec certitude. À défaut, les cavités sont traitées en carrière et piliers (100 m).

IV.3.4 Synthèse des phénomènes attendus et des aléas

IV.3.4.1 Phénomènes attendus par type de cavité

L'inspection des cavités souterraines du secteur d'étude a montré une dégradation générale importante des édifices. Il convient de distinguer :

- **les cavités maçonnées (boves)** : ces cavités sont plus ou moins bien entretenues mais assurent généralement la tenue des terrains. L'observation de nombreuses reprises en sous-œuvre ou de renforts de structure, par exemple, montre bien que des défaillances sont possibles. L'emprise généralement restreinte de ces vides limite les effets possibles en surface, principalement sous forme d'effondrement localisé d'intensité très limitée à élevée.
- **les galeries militaires de liaison datant de la première guerre mondiale et les sapes** : Il s'agit de cavités linéaires taillées dans la craie crue : la largeur de ces galeries est faible au regard de leur développement dans le plan. Les effets possibles en surface sont principalement sous forme d'effondrement localisé d'intensité très limitée à modérée.
- **les cavités en chambres et piliers** : anciennes carrières d'exploitation de la craie, en partie réutilisées pendant les deux conflits mondiaux, ces cavités peuvent avoir de grandes dimensions. La craie naturellement fracturée, présente souvent des faiblesses au niveau du ciel et des piliers. Les effets possibles en surface sont nombreux. Les phénomènes les plus probables en surface sont des effondrements localisés d'intensité très limitée (cavité remblayée) à élevée. Des effondrements généralisés sont possibles dans des secteurs dégradés à très dégradés de certaines cavités.
- **les vides associés aux tranchées de la première guerre mondiale** : d'un développement limité, ces cavités annexes (abris, dépôts) non remblayées ou mal remblayées sont globalement très mal identifiées car indiquées partiellement sur les cartes militaires historiques. L'emprise généralement restreinte de ces vides limite les effets possibles en surface (voir IV.2.5).
- **les ruptures de têtes de puits ou des bouchons de catiche** : il existe de nombreux puits permettant d'accéder aux travaux souterrains. Certains ont été obstrués et oubliés. La rupture d'une tête de puits, résultant de l'évolution défavorable des parois du puits, entraîne en surface un effondrement localisé d'intensité limitée à modérée

Dans le cas des cavités ouvertes au public (bove de la Place-des-Héros et Carrière Wellington) et faisant l'objet de contrôles périodiques, conformément au guide méthodologique PPRN, les cavités doivent être traitées comme des cavités abandonnées. Néanmoins, ces cavités feront l'objet de mesures réglementaires spécifiques dans le règlement.

IV.3.4.2 Règles de cartographie de l'aléa

L'ensemble des règles édicté précédemment est repris dans le tableau ci-après :

	Zone comprise dans les remparts (Zone de fortification incluse)		Zone hors des remparts	
Type de cavité / indices	Zone d'aléa (hors précision)	Type d'aléa	Zone d'aléa (hors précision)	Type d'aléa
Emprise de cavité connue	Angle d'influence	Effondrement	Angle d'influence	Effondrement
Secteur muré, non carté, remblayé ou effondré d'une cavité	30 m	Présomption d'effondrement	50 m	Présomption d'effondrement
Cavité ponctuelle (cavité d'exploitation, boves et type inconnu)	Selon données disponibles (croquis avec échelle) ou mesures de la cavité connues, sinon : 30 m	Effondrement ou présomption d'effondrement	Selon données disponibles (croquis avec échelle) ou mesures de la cavité connues, sinon : 100 m	Effondrement ou présomption d'effondrement
Cavité ponctuelle de type galerie	Fonction des données disponibles (distance) pouvant être augmenté au cas par cas 30 m	Effondrement ou présomption d'effondrement	fonction des données disponibles (distance) pouvant être augmenté au cas par cas 50 m	Effondrement ou présomption d'effondrement
Cavité ponctuelle de type militaire (dogout, abris)	Selon données disponibles (croquis avec échelle) ou mesures de la cavité connues, sinon : 15 m	Effondrement ou présomption d'effondrement	Selon données disponibles (croquis avec échelle) ou mesures de la cavité connues, sinon : 15 m	Effondrement ou présomption d'effondrement
Sondage rencontrant un vide ou un vide remblayé	30 m ou 100 m (en fonction de la typologie de cavité supposée)	Présomption d'effondrement	100 m	Présomption d'effondrement
Affaissement	Au cas par cas	Présomption d'effondrement	Au cas par cas	Présomption d'effondrement
Anomalie microgavimétrique	Au cas par cas	Présomption d'effondrement	Au cas par cas	Présomption d'effondrement
Fontis, débouillage de puits (non liés à une cavité connue)	30 m	Présomption d'effondrement	100 m	Présomption d'effondrement
Puits non reconnu (hors puits de carrière)	3 m	Effondrement	3 m	Effondrement
Tranchées	Non applicable	Non applicable	15 m	Aléa tranchée spécifique (voir IV.2.5)

Tableau IV.13: Tableau récapitulatif des zones d'aléas en fonction de la localisation et du type de cavité

TITRE V LES ENJEUX

Au sens du guide d'élaboration des plans de prévention des risques naturels prévisibles, les enjeux correspondent à l'ensemble des biens et activités présents sur le périmètre du PPRMT.

Remarque. Ce ne sont pas les personnes qui sont directement considérées comme un enjeu, mais les zones habitées qui constituent l'enjeu pouvant être cartographié. La fréquentation occasionnelle des espaces naturels ou agricoles, des parcs et jardins et des abords des zones urbanisées ne constitue pas un enjeu cartographié dans le présent PPRMT. La prévention correspondante ne relève pas du PPRMT.

Les phénomènes étudiés peuvent néanmoins induire un danger important pour les personnes qui se trouveraient dans les zones exposées, lors du déclenchement du phénomène.

V.1 IDENTIFICATION DES DIFFÉRENTS ENJEUX

V.1.1 Regroupement des zones en fonction du classement du PLUi

La démarche a été réalisée en deux temps : un traitement automatisé en s'appuyant sur le PLUi et un traitement manuel après échange avec les collectivités.

V.1.1.1 Du PLUi aux enjeux

La carte des enjeux du PPRMT est composée de deux zones : espace urbanisé (EU) et espace non urbanisé (ENU). L'analyse des zones du PLUi aboutit au tableau suivant :

	Enjeux	Zone PLUi	Type d'enjeux
Espace urbanisé	Centre-ville	UA : UAa, Uab, UAc	Centre-ville strict, secteur en enjeux des communes urbaines, Centre-village
	Zone urbaine	UC : Uca, Uca+, Ucb, Ucc UL	Zone pavillonnaire et résidentielle Zone d'équipements et de services (sport, loisir, socio-culturel, santé, etc.
	Zone d'activité	UB : Uba, Ubb UE : Uem, UEI, Uec UG : UG, UG+	Secteur urbain avec enjeux fort Secteur à vocation d'activités mixtes Zone urbaine spécifique (fer, autoroute et services publics)
Espace non urbanisé	Zone de projet	1AUA : 1AUA à 1AUA4 1AUE : 1AUEm, 1AUEc 1AUL : 1AU, 1AU+	Zone mixte d'urbanisation future selon la densité Secteur urbanisable à court et moyen terme à vocation d'activités mixtes Zone d'urbanisation future à vocation spécifique d'équipements publics
	Zone naturelle	N A UP : UP, UP+ UJ : UJ, UJ+	Zone naturelle, jardins familiaux, aire d'accueil des gens du voyage Zone agricole pouvant contenir des constructions non agricoles dispersées Parc urbain Fond de jardins situés au contact avec les zones agricoles ou naturelles

Tableau V.1: Typologies d'usages du sol dans le PLUi

Les zones agricoles (A), naturelles (N) ainsi que les parcs urbains (UP) et les fonds de jardin (UJ) du PLUi **sont automatiquement classés en espace non urbanisé (ENU)**.

Pour la zone urbanisée, seules les zones spécifiques (UB, UE et UG) du PLUi **sont automatiquement classées en espace urbanisé (EU)**.

Une fois ces zones attribuées, des traitements spécifiques sont appliqués au reste du territoire.

V.1.1.2 Tâche urbaine et bâtiments isolés

Dans la logique du PPRMT, les zones sont considérées comme urbanisées si les parcelles sont bâties et qu'elles forment une zone homogène en termes d'usage du sol.

La « tâche urbaine » correspond à une délimitation de l'espace urbanisé dans un périmètre précis et homogène à l'échelle de la cartographie des enjeux. Elle correspond ici à un tampon rectangulaire de 25 mètres autour des bâtiments du Plan Cadastral Informatisé (PCI).

Les entités bâties de moins de 10 m² ne sont pas prises en compte dans le traitement. Ce sont en général des bâtiments annexes ou des dépendances qui ne font pas l'objet d'une occupation permanente.

Un bâtiment est considéré comme isolé si son tampon n'est pas en contact avec une zone constituée d'au moins quatre autres tampons.

Une fois la distinction entre bâtiments isolés et bâtiments continus effectuée, le tampon est ramené à 15 mètres autour des bâtiments. **Cette emprise correspond à la partie actuellement urbanisée (PAU).**

V.1.1.3 Identification des parcelles à reclasser

Afin que la limite entre l'espace urbanisé et l'espace non urbanisé ne coupe pas les parcelles en plusieurs petites sections, les traitements suivants sont faits à l'échelle de la parcelle :

- les parcelles entièrement exclues de la PAU et les parcelles non bâties sont attribuées à l'espace non urbanisé ,
- pour les autres parcelles, on calcule le pourcentage de la parcelle qui est urbanisée, c'est-à-dire qui appartient à la PAU.
 - une parcelle urbanisée à plus de 75 % est entièrement attribuée à la zone urbanisée ,
 - une parcelle urbanisée à moins de 75 % est découpée. La partie correspondant à la PAU est attribuée à l'espace urbanisé, le reste est attribué à l'espace non urbanisé.

V.1.1.4 Règle de morcellement

Les étapes de traitement précédentes font apparaître des espaces non urbanisés au sein de la zone urbaine et créent un morcellement du zonage.

L'objectif étant de garder des zones homogènes en termes d'occupation du sol, un seuil de 5 000 m² est fixé. Ainsi, les espaces non urbanisés dont la surface est inférieure à ce seuil et enclavés dans une zone urbanisée sont reclassés dans l'espace urbanisé. Dans le cas contraire, la zone est conservée en espace non urbanisé.

V.1.1.5 Vérification et correction manuelle

Bien que des vérifications aient été faites après chaque opération, une validation visuelle est effectuée. Les parcelles non bâties qui auraient éventuellement été classées en espace urbanisé sont systématiquement reclassées en espace non urbanisé, si elles sont au contact d'une zone naturelle de plus de 5 000 m². Ces ajustements avaient vocation à prendre en compte les projets des collectivités à court et moyen termes classés en ENU, afin d'envisager leur reclassement en EU.

Une seconde phase de vérification et correction manuelle a été opérée à la suite des rencontres avec les collectivités.

Ces vérifications ou amendements et leur prise en compte font l'objet de compte-rendus de réunion, repris dans le bilan de la concertation.

V.1.2 Les ERP et bâtiments sensibles

Les établissements recevant du public (ERP) et les équipements sensibles sont des bâtiments à enjeux forts et sont donc identifiés sur la carte. À partir des données fournies par la CUA, 4 classes sont retenues :

- ERP scolaire (école, collège, lycée)
- ERP santé (EHPAD, CHU, cliniques, etc.)
- ERP souterrain (Circuit de visite des Boves et de la carrière Wellington)
- équipements de gestion de crise (Mairies, police, gendarmerie, etc.)

À l'exclusion des ERP souterrains, les ERP sont représentés par l'emprise de l'ensemble des bâtiments les composant. Dans le cas des ERP souterrains, la zone considérée comprend l'emprise actuellement ouverte au public augmentée de la marge de sécurité.

V.2 IDENTIFICATION DES ENJEUX EXPOSÉS

V.2.1 Croisement de la carte des enjeux et de la carte des aléas

Le croisement de la carte des enjeux (ensemble des personnes, biens et équipements du territoire) et de la carte des aléas (ensemble des événements liés aux cavités souterraines qui ont une probabilité d'occurrence plus ou moins forte) permet d'obtenir les enjeux exposés (Figure V.1).

Deux types d'aléas sont retenus dans ce croisement : l'aléa effondrement de cavités souterraines dans un premier temps, l'aléa lié aux tranchées et ouvrages annexes dans un second temps.

Les enjeux exposés sont quantifiés avec quatre critères :

- la surface parcellaire impactée,
- le nombre de bâtiments impactés,
- la surface bâtie impactée,
- ERP et bâtiments de gestion de crise impactés.

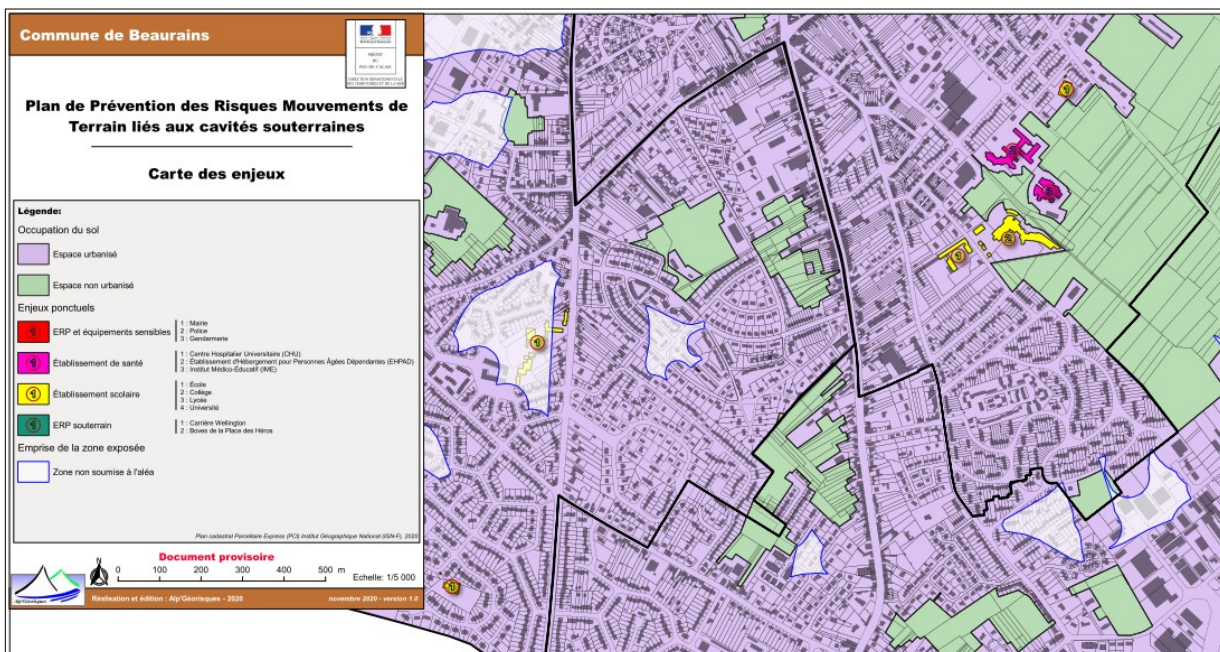


Figure V.1: Extrait de la carte de enjeux

V.2.2 Bilan des enjeux exposés

L'ensemble des données est issu du croisement de la carte des enjeux et des cartes des aléas. Pour l'ensemble des critères, les résultats sont présentés sous la forme d'un tableau présentant les données brutes ainsi que les proportions par rapport aux valeurs maximales des différents critères.

Pour les quatre critères, il y a deux tableaux : le premier pour l'impact de l'aléa « effondrement de cavité souterraine », le second pour l'impact de l'aléa « tranchées et ouvrages militaires annexes ». Ces deux types d'aléas peuvent se superposer.

V.2.2.1 Surface parcellaire impactée

Surface parcellaire impactée par l'aléa « effondrement de cavité souterraines »						
Communes	ENU		EU		Total	
	Surface impactée	% des terrains impactés	Surface impactée	% des terrains impactés	Surface impactée	% des terrains impactés
Achicourt	19	5,4	60	25,9	79	13,6
Arras	41	18,6	315	32,5	356	29,9
Beaurains	105	29,3	93	38,6	198	33,1

Tableau V.2: Surface parcellaire impactée par l'aléa « effondrement de cavité souterraines »

Surface parcellaire impactée par l'aléa « tranchées et ouvrages militaires annexes »						
Communes	ENU		EU		Total	
	Surface impactée	% des terrains impactés	Surface impactée	% des terrains impactés	Surface impactée	% des terrains impactés
Achicourt	194	55,4	154	66,4	348	59,8
Arras	129	58,4	384	39,7	513	43,1
Beaurains	260	72,6	219	90,9	479	80,0

Tableau V.3: Surface parcellaire impactée par l'aléa « tranchées et ouvrages militaires annexes »

V.2.2.2 Nombre de bâtiments impactés

Nombre de bâtiments impactés par l'aléa « effondrement de cavité souterraines »						
Communes	ENU		EU		Total	
	Nombre de bâtiments	% de bâtiments impactés	Nombre de bâtiments	% de bâtiments impactés	Nombre de bâtiments	% de bâtiments impactés
Achicourt	11	11,3	1720	31,2	1731	30,8
Arras	6	18,2	8704	41,4	8710	41,4
Beaurains	8	25,0	1955	46,2	1963	46,1

Tableau V.4: Nombre de bâtiments impactés par l'aléa « effondrement de cavité souterraines »

Nombre de bâtiments impactés par l'aléa « tranchées et ouvrages militaires annexes »						
Communes	ENU		EU		Total	
	Nombre de bâtiments	% de bâtiments impactés	Nombre de bâtiments	% de bâtiments impactés	Nombre de bâtiments	% de bâtiments impactés
Achicourt	36	37,1	3813	69,1	3849	68,6
Arras	22	66,7	8737	41,6	8759	41,6
Beaurains	22	68,8	3963	93,7	3985	93,5

Tableau V.5: Nombre de bâtiments impactés par l'aléa « tranchées et ouvrages militaires annexes »

V.2.2.3 Surface bâtie impactée

Surface bâtie impactée par l'aléa « effondrement de cavité souterraines »						
Communes	ENU		EU		Total	
	Surface bâtie (m ²)	% de surface bâtie impactée	Surface bâtie (m ²)	% de surface bâtie impactée	Surface bâtie (m ²)	% de surface bâtie impactée
Achicourt	246	12,9	140 205	31,3	140 452	31,2
Arras	1292	26,7	992 534	44,2	993 826	44,1
Beaurains	404	5,7	186 711	46,5	187 115	45,8

Tableau V.6: Surface bâtie impactée par l'aléa « effondrement de cavité souterraines »

Surface bâtie impactée par l'aléa « tranchées et ouvrages militaires annexes »						
Communes	ENU		EU		Total	
	Surface bâtie (m ²)	% de surface bâtie impactée	Surface bâtie (m ²)	% de surface bâtie impactée	Surface bâtie (m ²)	% de surface bâtie impactée
Achicourt	767	40,1	316753	70,7	317520	70,5
Arras	3663	75,7	892371	39,7	896034	39,8
Beaurains	4616	64,7	379694	94,7	384310	94,1

Tableau V.7: Surface bâtie impactée par l'aléa « tranchées et ouvrages militaires annexes »

V.2.2.4 ERP et équipements de gestion de crise impactés

ERP et bâtiments de gestion de crise impactés par l'aléa « effondrement de cavité souterraines »								
Communes	Santé		Scolaire		Bâtiment gestion de crise		Souterrain	
	Nombre	Proportion (%)	Nombre	Proportion (%)	Nombre	Proportion (%)	Nombre	Proportion (%)
Achicourt			9	24	5	100		
Arras	52	75	126	30	42	53	2	100
Beaurains			14	100	2	100		

Tableau V.8: ERP et bâtiments de gestion de crise impactés par l'aléa « effondrement de cavité souterraines »

ERP et bâtiments de gestion de crise impactés par l'aléa « tranchées et ouvrages militaires annexes »								
Communes	Santé		Scolaire		Bâtiment gestion de crise		Souterrain	
	Nombre	Proportion (%)	Nombre	Proportion (%)	Nombre	Proportion (%)	Nombre	Proportion (%)
Achicourt	3	100	10	26				
Arras	44	64	218	52	43	54	1	50
Beaurains			14	100	2	100		

Tableau V.9: ERP et bâtiments de gestion de crise impactés par l'aléa « tranchées et ouvrages militaires annexes »

TITRE VI LE ZONAGE RÉGLEMENTAIRE

Le zonage réglementaire transcrit les études techniques (qui ont notamment conduit à l'élaboration de la carte des aléas) en termes d'interdictions, de prescriptions et de recommandations. Il définit trois types de zones :

- des zones d'interdiction, figurées en rouge où les constructions nouvelles à usage d'habitation sont interdites ou soumises à des prescriptions fortes et où toute occupation des sols est strictement réglementée ,
- des zones de restriction, figurées en bleu, où des aménagements ou des constructions peuvent être autorisées sous réserve du respect de prescriptions particulières.

Par ailleurs, il présente également des zones réputées sans risque prévisible significatif (en l'état de nos connaissances actuelles) figurées en blanc, dans lesquelles les autres règles (d'urbanisme, de construction, de sécurité...) demeurent applicables. C'est notamment le cas des règles usuelles de construction et du respect des directives nationales (règle « neige et vent » ou règles parasismiques par exemple).

Le règlement fixe les dispositions applicables aux biens et activités existants, ainsi qu'à l'implantation de toute construction et installation nouvelle, à l'exécution de tous travaux et à l'exercice de toute activité, sans préjudice de l'application des autres législations ou réglementations en vigueur. Il définit les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde qui doivent être prises par les collectivités publiques dans le cadre de leurs compétences, ainsi que celles qui peuvent incomber aux particuliers.

Le règlement comporte l'ensemble des prescriptions applicables pour chacune des zones à risques. Les prescriptions sont opposables à toute autorisation d'utilisation du sol.

Certains projets autorisés sous réserve de prescriptions seront soumis à la réalisation d'une étude permettant de déterminer les conditions de réalisation, d'utilisation et d'exploitation du projet permettant de garantir le respect des prescriptions du PPRMT.

Pour ces projets soumis à permis de construire ou permis d'aménager, le pétitionnaire fournira une attestation de l'architecte ou d'un expert certifiant de la réalisation de ladite étude au titre de l'article R.431-16-f du Code de l'urbanisme.

À défaut, les prescriptions du règlement figureront dans le corps de l'autorisation administrative d'occuper le sol.

VI.1 ÉLABORATION DU PLAN DE ZONAGE

VI.1.1 Principes généraux

En application de l'article L.562-1 du Code de l'environnement et de l'article 2-titre 1 du décret n°95-1089 du 5 octobre 1995, le territoire des communes reprises dans l'article 1 est inscrit dans le périmètre sujet aux mouvements de terrain liés à la présence de cavités souterraines, pour le phénomène de référence, comprend six zones identifiées par une couleur propre : chaque zone fait l'objet d'une réglementation spécifique.

Des dispositions réglementaires sont définies pour les diverses zones identifiées à partir des cartes des aléas et des enjeux.

En fonction de la nature et de l'intensité des phénomènes attendus (aléa) et de la typologie de l'usage du sol retenu (enjeu), le plan de zonage résulte du croisement de ces deux paramètres.

VI.1.2 Repérages des zones réglementées

Les diverses dispositions réglementaires sont identifiées par des codes alphanumériques comportant une lettre et un numéro.

La lettre traduit le type de zone : R pour les zones rouges d'interdiction ou B pour les zones bleues d'autorisation conditionnelle.

Le numéro permet d'identifier le règlement pour le type de zone (numérotation de 1 à 3).

La description détaillée de ces zones est reprise au paragraphe II.1.1. du règlement.

VI.2 NATURE DES MESURES DE PRÉVENTION ET DE PROTECTION

Le règlement du PPRMT d'Achicourt, Arras et Beaurains a pour objectif de prévenir l'apparition de nouveaux risques et de réduire les risques existants tant pour les personnes que pour les biens et les activités.

Les dispositions réglementaires dépendent de la nature et de l'intensité des phénomènes générant l'aléa, de la nature des enjeux et de leur vulnérabilité vis-à-vis de ces phénomènes – c'est-à-dire du risque – et des objectifs d'aménagement et de gestion du territoire.

Les paragraphes suivants présentent les **principes** et les grandes lignes des mesures réglementaires pour les divers phénomènes pris en compte par le PPRMT. Ces éléments sont destinés à expliquer les mesures figurant dans les **dispositions réglementaires** et à faciliter leur compréhension, il est indispensable de se référer au règlement pour l'application du PPRMT d'Achicourt, Arras et Beaurains.

VI.2.1 Mesures générales de prévention

Pour limiter le risque dans l'ensemble des zones exposées aux mouvements de terrain, la création d'établissements sensibles doit être évitée.

À la charge des maîtres d'ouvrages, gestionnaires ou utilisateurs :

- mise en place de mesures de maintenance qui garantissent la stabilité des ouvrages de confortement (entretien, auscultation, surveillance périodique, etc.), et notamment celles recommandées par des études techniques antérieures,
- pour les bâtiments présentant des manifestations connues d'instabilité, mise en place de mesures de surveillance périodique, d'entretien et réalisation éventuelle de travaux spécifiques de prévention, notamment ceux recommandés par des études techniques antérieures permettant de limiter la probabilité d'apparition des mouvements de terrain et donc de limiter les risques induits.

L'eau joue un rôle essentiel dans l'apparition et le développement des mouvements de terrain. Toutes les infiltrations dans les zones sensibles ou à leurs abords doivent être évitées. Il s'agit notamment :

- d'adapter la gestion des eaux pluviales (interdiction des infiltrations concentrées dans le sol et sous-sol, maîtrise des rejets d'eau),
- d'adapter la gestion des eaux usées (interdiction des dispositifs d'assainissement individuel avec infiltration),
- de contrôler l'ensemble des réseaux de collecte et d'adduction pour éviter les fuites.

VI.2.2 Mesures spécifiques aux risques induits par les effondrements de cavité souterraine

Le règlement du PPR MT distingue six zones homogènes dans lesquelles des mesures spécifiques sont applicables :

- des zones d'interdiction :
 - la zone R1 réglemente les secteurs situés à l'aplomb des musées souterrains ouverts au public,
 - la zone R2 réglemente les secteurs exposés à un aléa faible à très fort d'effondrement de cavité souterraine en espace non urbanisé,
 - la zone R3 réglemente les secteurs exposés à un aléa très fort (hors présomption) d'effondrement de cavité souterraine en espace urbanisé,

- des zones de prescription :
 - la zone B1 régleme les secteurs exposés à un aléa moyen à fort d'effondrement de cavité souterraine en zone urbanisée et les secteurs exposés à un aléa très fort de présomption en espace urbanisé ,
 - la zone B2 régleme les secteurs exposés à un aléa faible et moyen avec une faible intensité d'effondrement de cavité souterraine en espace urbanisé ,
 - la zone B3 régleme les secteurs exposés à un aléa faible « tranchée » en espace urbanisé et non urbanisé.

Aléa		Enjeux	Espace urbanisé (EU)	Espace Non Urbanisé (ENU)
<i>Sans aléa ou négligeable</i>			<i>Zone blanche</i>	
<i>Effondrement de cavité faible</i>			B2	R2
<i>Effondrement de cavité faible d'intensité limitée</i>			B2	R2
<i>Effondrement de cavité moyen</i>			B1	R2
<i>Effondrement de cavité moyen d'intensité limitée</i>			B2	R2
<i>Effondrement de cavité fort</i>			B1	R2
<i>Effondrement de cavité très fort</i>			R3	R2
<i>Mouvement de terrain lié aux « tranchées » et dug-out¹ faible</i>			B3	
<i>Établissement Recevant du Public Souterrain</i>			R1	
Présomption¹	<i>Effondrement de cavité de niveau faible</i>		B2	R2
	<i>Effondrement de cavité faible d'intensité limitée</i>		B2	R2
	<i>Effondrement de cavité moyen</i>		B2	R2
	<i>Effondrement de cavité moyen d'intensité limitée</i>		B2	R2
	<i>Effondrement de cavité fort</i>		B2	R2
	<i>Effondrement de cavité très fort</i>		B1	R2

Tableau VI.1 : Zonage du P.P.R.M.T. : Grille de croisement aléas et enjeux

Dans ces zones de prescription, la réalisation de constructions ou d'aménagements peut être envisagée si les cavités sont suffisamment petites et si les projets sont spécifiquement adaptés (renforcement des fondations et des structures, création de radiers, etc.). Ces adaptations doivent impérativement reposer sur des études détaillées portant sur les cavités (profondeur, extension, etc.), sur les terrains de couverture ainsi que sur le projet lui-même (renforcement des structures par exemple).

Le comblement des cavités est possible dans certains cas (cavités offrant des volumes suffisamment faibles, possibilité d'accès, etc.). Cette mesure, convenablement mise en œuvre et suivie, permet de supprimer² l'aléa lié à la cavité comblée.

Ces actions de comblement de cavités seront toutefois soumises à une analyse environnementale préalable intégrant la démarche ERC (éviter, réduire, compenser). Des mesures spécifiques devront éventuellement être mises en œuvre, suite à ce constat, en particulier pour la protection des chiroptères et de leurs habitats.

On se reportera au règlement du PPR MT pour le détail des mesures applicables à chaque zone réglementée.

¹ Dug-out : Sortie de tunnel

² Cette suppression de l'aléa sous-entend que le comblement est définitif.

Index des figures

Figure I.1: schéma aléas x enjeux = risque.....	5
Figure I.2 : synoptique de la procédure d'élaboration d'un Plan de Prévention des risques.....	7
Figure II.1: Localisation des communes d'Achicourt, Arras et Beaurains. Source des données: IGN.....	11
Figure II.2: Carte des altitudes.....	13
Figure II.3: Extrait de la carte géologique d'Arras au 1/50 000 (échelle non respectée).....	14
Figure II.4: Coupe géologique interprétative de la région.....	15
Figure II.5: Carte piézométrique du niveau bas de la nappe de la craie en 1997 (en m NGF) - source BRGM	16
Figure II.6: Carte piézométrique du niveau des plus hautes eaux de la nappe de la craie en 1995.....	17
Figure II.7: Arras au VIII° siècle (source : Étapes du développement urbain d'Arras -Lestocquoy - Revue belge de Philologie et d'Histoire Année 1944).....	19
Figure II.8: Plan d'Arras avant le XVII° siècle (source : Étapes du développement urbain d'Arras -Lestocquoy - Revue belge de Philologie et d'Histoire Année 1944).....	20
Figure II.9: Carte de Cassini (entreprise en 1750 et terminée en 1815).....	20
Figure II.10: Carte d'État-Major (1820-1866).....	21
Figure II.11: Photographie de la voûte d'une cave d'Arras (source : intohistory.com).....	23
Figure II.12: Exemple de cave taillée sous la salle de concert, rue Ernestale à Arras (ARR241).....	23
Figure II.13: Photographie d'une galerie de bove (source : arras.fr).....	25
Figure II.14: Exemple de boves (salle et galerie) sous la place de la préfecture à Arras (ARR35).....	25
Figure II.15: Vue d'une catiche sur la commune d'Arras - extrait du document ARR204.....	26
Figure II.16: Schéma d'exploitation en catiche.....	26
Figure II.17: Vue de la carrière Wellington sur la commune d'Arras. (source : arras.fr).....	27
Figure II.18: Plan ancien d'une carrière en chambres et piliers à Arras (cavité Wellington, XXX59).....	27
Figure II.19: Plan de galerie de contre-mine (en rouge) sur un saillant d'Ypres (source : gallica.bnf.fr).....	28
Figure II.20: Plan de coupe d'une galerie de contre-mine sur un saillant d'Ypres (source : gallica.bnf.fr).....	28
Figure II.21: Tranchée de première ligne dans la région d'Arras.....	29
Figure II.22: Croquis d'un champ de bataille de la guerre des tranchées. Croquis-dessin. Brun Georges, 2015.	29
Figure II.23: Entrée d'un abri dans une tranchée allemande de première ligne (source : gallica.bnf.fr).....	30
Figure II.24: Coupe d'un abri de tranchée (source : rosalielebel75.franceserv.com).....	30

Figure II.25: Tunnel de sape française en Argonne (source : stephanecompoint.com).....	31
Figure II.26: Schéma d'explication sur les techniques de sape et contre-sape (source : gallica.bnf.fr).....	31
Figure III.1: Montée de voûte entre 2 diaclases qui ont « prédécoupé » la masse crayeuse (Etrun (62), CEREMA).....	35
Figure III.2: Schématisation de l'angle d'influence.....	36
Figure III.3: Tassement différentiel au-dessus d'une carrière de craie à Montdidier.....	37
Figure III.4: Tassement sur terrains sous-cavés à Montdidier.....	38
Figure III.5: Effondrement du toit (rue des Hochettes - Arras).....	39
Figure III.6: Engloutissement d'un transformateur EDF à Beaurains (février 2018).....	39
Figure III.7: Rupture d'une tête d'un ancien puits obstrué (Arras- 62, rue Gustave-Colin).....	40
Figure III.8: Éclatement d'un pilier et affaissement du toit (Saint-Même-les-Carières).....	41
Figure III.9: Effondrement généralisé à Clamart (92) en 1961.....	42
Figure III.10: Exploitation des carrières en chambres et piliers.....	42
Figure III.11: Répartition des types de cavités dont l'origine est connue.....	43
Figure III.12: Localisation estimée de l'effondrement de 1925 (zone rouge hachurée). Les pastilles rouges indiquent les propriétés impactées.....	47
Figure III.13: Schéma de la déstabilisation du 14 novembre 1955.....	48
Figure III.14: Fontis à l'avant du 21 rue Victor Hugo à Beaurains.....	49
Figure III.15: Schéma de la déstabilisation du 13 rue Baudimont à Arras issu du document ARR235.....	50
Figure III.16: Extrait du document ARR274 localisant l'effondrement.....	51
Figure III.17: Fontis rue Docteur-Schweitzer à Beaurains. Source: GRIMP (BEA14).....	51
Figure III.18: Fontis le long de la chaussée du barreau sud. Source: Mairie d'Arras (ARR296).....	52
Figure III.19: Rupture de bouchon de catiche rue Émile Zola. Source: GRIMP (ARR285).....	53
Figure III.20: Débouillage de puits rue Gustave Colin. Source: DDTM62 (ARR220).....	53
Figure III.21: Effondrement route de Tilloy. Source: DDTM62.....	54
Figure III.22: Débouillage de puits sur le site de l'ESPE d'Arras. Source: Mairie d'Arras (ARR364).....	54
Figure III.23: Affaissement au niveau du parking de l'IRTS. Source: mairie d'Arras et AGR.....	55
Figure IV.1: Guide élaboré par la Direction Générale de la Prévention des Risques du ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie en 2012.....	58
Figure IV.2: Paramètre géométrique de la règle de Vachat.....	60
Figure IV.3: schéma d'un mécanisme d'affaissement (Guide PPRN, 2012).....	61

Figure IV.4: Largeur de fontis attendu en fonction de la portée entre piliers.....	63
Figure IV.5: Vue en coup d'une entrée de dogout. Source: A.Byledbal.....	72
Figure IV.6: Extrait de la carte des <i>aléas sur Arras</i>	73
Figure IV.7: schéma de l'angle d'influence (Graphies/MTES/AGR).....	75
Figure IV.8: exemple d'angle d'influence.....	75
Figure IV.9: Paramètre géométrique du calcul de l'angle d'influence.....	75
Figure IV.10: Centre-ville historique d'Arras et ses anciens remparts (figuré rouge).....	76
Figure V.1: Extrait de la carte de enjeux.....	84

Index des tableaux

Tableau III.1: Dénombrement des cavités recensées.....	43
Tableau III.2: Informations complémentaires sur les cavités.....	44
Tableau III.3: Dénombrement des puits.....	45
Tableau III.4: Dénombrement des tranchées de la Grande-Guerre.....	45
<i>Tableau III.5: Dénombrement des désordres</i>	46
Tableau IV.1: Classe intensité « effondrement localisé ».....	62
Tableau IV.2: Classe intensité « effondrements généralisés ».....	63
Tableau IV.3: Probabilité d'occurrence « affaissements ».....	66
Tableau IV.4: Probabilité d'occurrence « effondrements localisés ».....	68
Tableau IV.5: Probabilité d'occurrence « effondrements généralisés » – cas 1.....	69
Tableau IV.6: Probabilité d'occurrence « effondrements généralisés » – cas 2.....	69
<i>Tableau IV.7: Probabilité d'occurrence « présomption de vides » retenue</i>	70
Tableau IV.8: Échelle de hiérarchisation de l'aléa lié à la présence de cavités souterraines selon le guide méthodologique.....	71
Tableau IV.9: Hiérarchisation de l'aléa lié à la présence de cavités souterraines.....	71
Tableau IV.10: Aléa lié aux secteurs comblés par injection.....	71
Tableau IV.11: Aléa lié aux secteurs de tranchées.....	72
Tableau IV.12: Précision de positionnement des éléments cartographiés.....	74
Tableau IV.13: Tableau récapitulatif des zones d'aléas en fonction de la localisation et du type de cavité.....	80
Tableau V.1: Typologies d'usages du sol dans le PLUi.....	82

<i>Tableau V.2: Surface parcellaire impactée par l'aléa « effondrement de cavité souterraines »</i>	85
<i>Tableau V.3: Surface parcellaire impactée par l'aléa « tranchées et ouvrages militaires annexes »</i>	85
<i>Tableau V.4: Nombre de bâtiments impactés par l'aléa « effondrement de cavité souterraines »</i>	85
<i>Tableau V.5: Nombre de bâtiments impactés par l'aléa « tranchées et ouvrages militaires annexes »</i>	85
<i>Tableau V.6: Surface bâtie impactée par l'aléa « effondrement de cavité souterraines »</i>	86
<i>Tableau V.7: Surface bâtie impactée par l'aléa « tranchées et ouvrages militaires annexes »</i>	86
<i>Tableau V.8: ERP et bâtiments de gestion de crise impactés par l'aléa « effondrement de cavité souterraines »</i>	86
<i>Tableau V.9: ERP et bâtiments de gestion de crise impactés par l'aléa « tranchées et ouvrages militaires annexes »</i>	86
<i>Tableau VI.1 : Zonage du P.P.R.M.T. : Grille de croisement aléas et enjeux</i>	91



**PRÉFET
DU PAS-DE-CALAIS**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**Direction départementale
des territoires et de la mer**