

Service Risques Énergie Construction Circulation
Urbanisme et Prévention des Risques

PLAN DE PRÉVENTION DES RISQUES NATURELS de « mouvements de terrain »

Commune de HILSPRICH

(1 / 3) – NOTE DE PRÉSENTATION

- Élaboration

<i>PRESCRIPTION</i>	:	Arrêté préfectoral du 29 février 2012
<i>ENQUÊTE PUBLIQUE</i>	:	Du 19 mars au 19 avril 2018
<i>APPROBATION</i>	:	Arrêté préfectoral du 15 juin 2018

- Révision

<i>PRESCRIPTION</i>	:	Arrêté préfectoral du 11 juillet 2019
<i>ENQUÊTE PUBLIQUE</i>	:	Du 31 mai au 2 juillet 2021
<i>APPROBATION</i>	:	AP n°2021-DDT-SRECC-UPR-9 en date du

(1/3) Vu pour être annexé à l'arrêté N°2021-DDT-SRECC-UPR-9 en date du 17 août 2021

Le Préfet,
Pour le Préfet,
Le Secrétaire Général

Olivier DELCAYROU

Table des matières

A- INTRODUCTION	4
B - CADRE LÉGISLATIF ET RÉGLEMENTAIRE DU PLAN DE PRÉVENTION DES RISQUES NATURELS PRÉVISIBLES	5
1 - OBJET	5
2 - CONTENU.....	5
3 - PROCÉDURE.....	6
4 - CONSÉQUENCES.....	7
4.1 — Intégration au document d'urbanisme.....	7
4.2 — Information des citoyens.....	7
4.3 — En matière d'assurance.....	8
4.4 — Financement par le fonds de prévention des risques naturels majeurs de certaines mesures de prévention (note technique du 11 février 2019).....	9
4.5 — Recours des tiers.....	9
C - CONTEXTES ORGANISATIONNEL ET GÉOLOGIQUE DU VILLAGE	10
1 - SITUATION COMMUNALE SPATIALE	10
a – Localisation de HILSPRICH.....	10
b – Morphologie du village.....	11
2 - CONTEXTE GÉOLOGIQUE	16
D - MOUVEMENTS DE TERRAIN A HILSPRICH ET INVESTIGATIONS	17
1 - APPARITIONS ET MANIFESTATIONS DES DÉSORDRES	17
2 - INVESTIGATIONS ET ÉTUDES MENÉES	19
3 - RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION DES INVESTIGATIONS SCIENTIFIQUES	20
A – Investigations géologiques.....	20
B – Investigations géophysiques.....	27
C – Investigations topographiques.....	32
E - CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA	39
1 - ESTIMATION DE L'INTENSITÉ DE L'AFFAISSEMENT	39
2 - ESTIMATION DE LA PROBABILITÉ D'APPARITION DE NOUVEAUX AFFAISSEMENTS	39
2.1 – Épaisseur de la couverture.....	39
2.2 – Volume de vide.....	40
2.3 – Evolution du front de dissolution.....	40
2.4 – Influence des failles / fractures.....	42
3 - CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA	43
3.1 – Évaluation de l'aléa.....	43
3.2 – Facteurs aggravants.....	44
3.3 – Limite de la carte et échelle de restitution.....	45
3.4 – Cartographie mise à jour de l'aléa.....	46
F – ÉTUDE DE DÉFINITION DES DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES POUR LES PROJETS NEUFS ET LES CONSTRUCTIONS EXISTANTES	47
1 - PROBLÉMATIQUE DES BÂTIMENTS EN CAS D'AFFAISSEMENT DE TERRAIN	47
1.1 – Un modèle simplifié.....	47
1.2 – Sollicitations induites par le mouvement de translation du terrain.....	49
1.3 – Sollicitations induites par le mouvement de rotation du terrain.....	49
1.4 – Sollicitations induites par la courbure du terrain.....	51
1.5 – Sollicitations induites par la déformation horizontale du terrain.....	52
1.6 – Comportement des murs de remplissage.....	53

1.7 – Un modèle plus réaliste.....	55
1.8 – Collision entre les bâtiments.....	63
G - QUALIFICATION ET GESTION DU RISQUE, DANS LE CADRE DU PPRN	65
1 - DÉFINITION DE LA NOTION DE RISQUE	65
2 - ANALYSE DES ENJEUX	65
a – Dynamiques démographique et immobilière à HILSPRICH.....	65
b – Vulnérabilités matérielle et morale.....	68
3 - JUSTIFICATION DU PPRN PAR LA PRISE EN COMPTE DU RISQUE	70
4 - TRADUCTION CARTOGRAPHIQUE ET RÉGLEMENTAIRE	70
a – Plan de zonage	70
b – Principe de réglementation.....	70

A - INTRODUCTION

La loi du 2 février 1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement dite loi « BARNIER » et son décret d'application du 5 octobre 1995 ont créé, à travers les Plans de Prévention des Risques Naturels (PPRN), documents élaborés sous la responsabilité de l'État, le dispositif juridique pour permettre la prise en compte des risques naturels dans l'urbanisme, en les qualifiant de Risques Naturels Majeurs. Cette législation a été complétée par la loi du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages.

Ces textes ont été codifiés dans le Code de l'Environnement **aux articles L 562-1 et suivants et R 562-1 et suivants.**

En ce qui concerne l'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles, le texte de référence reste la loi 82.600 du 13 juillet 1982. La circulaire du 23 avril 2007 relative au financement par le fonds de prévention des risques naturels majeurs (FPRNM) de certaines mesures de prévention présente les modalités de gestion du fonds et les mesures de prévention susceptibles d'être financées par le fonds.

Les modalités de mise en œuvre du PPRN s'appuient sur la circulaire du 28 novembre 2011 relative au décret n° 2011-765 du 28 juin 2011 relatif à la procédure d'élaboration, de révision et de modification des plans de prévention des risques naturels prévisibles. Le PPRN de HILSPRICH est instruit dans les conditions fixées par l'arrêté préfectoral de prescription en date du 29 février 2012.

La présente note de présentation a pour but d'énoncer les caractéristiques des risques prévisibles, d'en préciser la localisation et de justifier les dispositions du PPRN, outil adapté pour la problématique spécifique de la commune de HILSPRICH.

Ainsi, la commune de HILSPRICH est confrontée à des mouvements de terrain de type « affaissement » consécutifs à la dissolution d'une couche de sel, impactant les zones urbanisées comme les zones naturelles, selon une propagation évolutive depuis 2006.

Les diverses démarches entreprises sur le territoire communal détaillées dans cette note justifient l'élaboration du PPRN pour une prise en compte raisonnée et responsable du risque.

B - CADRE LÉGISLATIF ET RÉGLEMENTAIRE DU PLAN DE PRÉVENTION DES RISQUES NATURELS PRÉVISIBLES

- Articles L 562-1 à L 562-9 du Code de l'Environnement

1 - OBJET

Conformément aux termes de l'article L 562-1 du Code de l'Environnement, l'État élabore et met en application des plans de prévention des risques naturels prévisibles tels que les inondations, les mouvements de terrain, les avalanches, les incendies de forêt, les séismes, les éruptions volcaniques, les tempêtes ou les cyclones.

Ces plans délimitent les zones exposées, prescrivent les règles applicables dans chacune des zones délimitées qui peuvent aller jusqu'à l'interdiction totale de l'occupation du sol et définissent les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde à prendre par les collectivités ou les particuliers.

Les dispositions prévues par le PPRN visant la réduction de la vulnérabilité des biens et des personnes peuvent s'appliquer aux projets nouveaux et aux constructions existantes et être rendues obligatoires dans un délai de réalisation de 5 ans éventuellement réduit en cas d'urgence, pour ce qui concerne l'existant. Les travaux de protection imposés à des biens construits avant l'approbation du PPRN ne peuvent dépasser 10 % de la valeur vénale ou estimée du bien à la date d'approbation du PPRN. À défaut de mise en conformité, le Préfet peut imposer la réalisation d'office des mesures rendues applicables par le PPRN.

2 - CONTENU

Conformément à l'article R 562-3 du Code de l'Environnement, le dossier de projet de plan comprend :

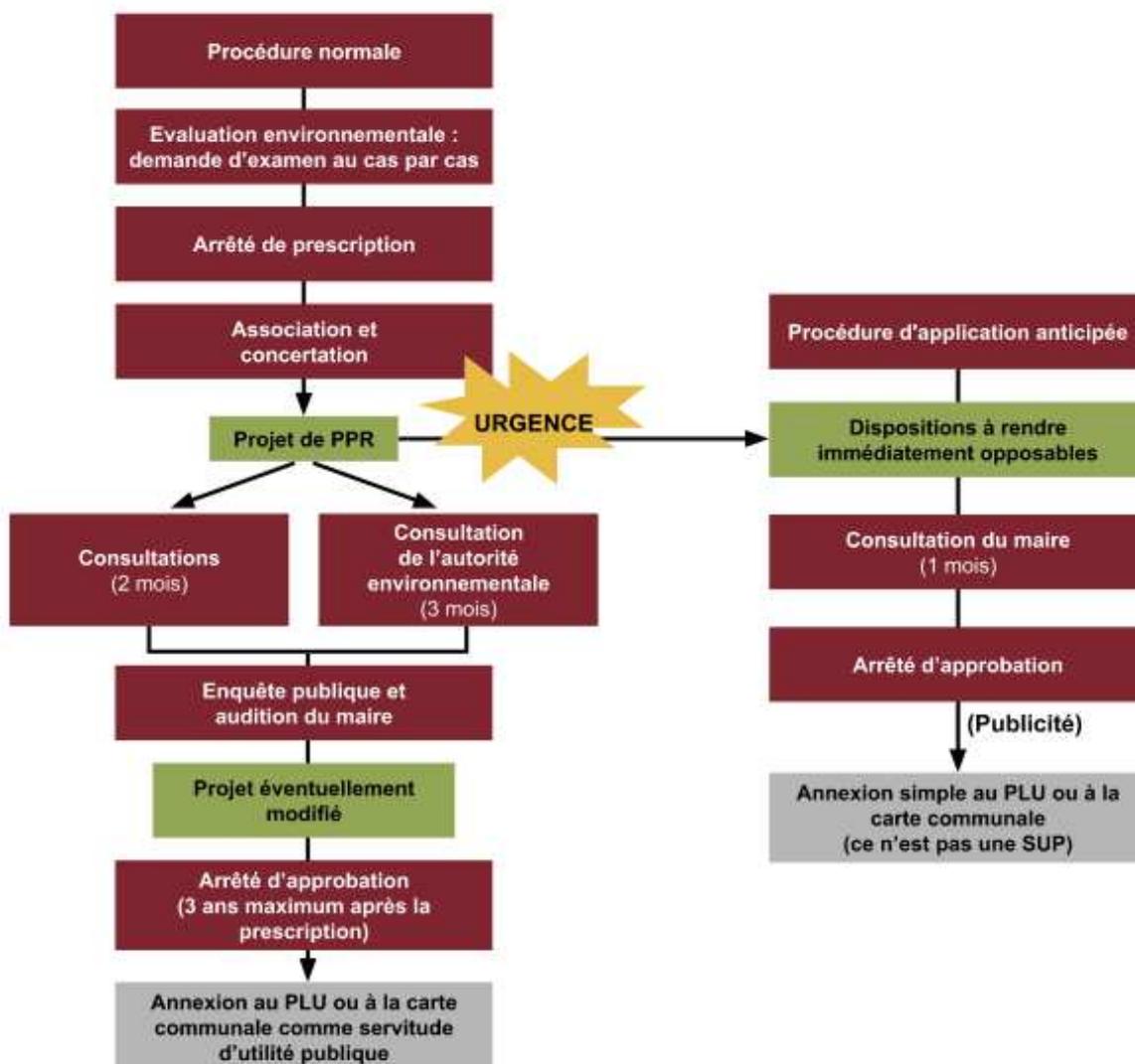
- une **note de présentation** qui justifie la prescription du PPR et expose le secteur géographique concerné, la nature des phénomènes naturels pris en compte, leurs intensités et conséquences possibles, compte tenu de l'état des connaissances, des enjeux rencontrés, des objectifs recherchés par la prévention des risques... ;
- un **document graphique** délimitant les types de zones dont la loi permet de réglementer les usages ;
- un **règlement** qui définit les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde et 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 plan. Le règlement mentionne, le cas échéant, celles de ces mesures dont la mise en œuvre est obligatoire et le délai fixé pour leur réalisation ;
- quatre **annexes** intitulées :
 - annexe 1 « Définition des Typologies pour les projets neufs » ;
 - annexe 2 « cahier des charges pour la réalisation d'une étude de projet de construction neuve hors typologie » ;
 - annexe 3 « modèle d'attestation pour la réalisation d'une étude de projet de construction neuve hors typologie » ;
 - annexe 4 « Définition des Typologies pour les bâtiments existants ».

3 - PROCÉDURE

Elle est identique pour l'élaboration du document ou sa révision

Elle est définie aux articles R562-1 à 10 du code de l'environnement. Elle est caractérisée par différentes phases, dont les délais et les conditions de réalisation doivent être respectés sous peine de s'exposer à des recours contentieux.

Elle se déroule en plusieurs étapes dans un cadre de concertation et d'association tout au long de la procédure.



4 - CONSÉQUENCES

4.1 — Intégration au document d'urbanisme

Conformément à l'article L. 562-4 du code de l'environnement, le plan de prévention des risques naturels « mouvement de terrain » (PPRNmt) est annexé aux documents d'urbanisme en tant que **servitude d'utilité publique**

Le PPRNmt est approuvé par arrêté préfectoral (art. R. 562-1 du code de l'Environnement), après enquête publique. Il fait l'objet d'une mesure de publicité destinée à informer les populations concernées. À compter de son approbation, les collectivités territoriales possédant un Plan Local d'Urbanisme (PLU) sont tenues, dans un délai de trois mois, à l'annexer à celui-ci (art. L. 153-60 du code de l'urbanisme). À la fin du délai, l'autorité administrative compétente de l'État y procède d'office. Les maires sont responsables de la prise en considération du risque « mouvements de terrain » sur leurs communes en général et de l'application du PPRNmt sur leur commune en particulier, notamment lors de l'élaboration, de la modification ou de la révision du document d'urbanisme. Par ailleurs, en présence d'un document d'urbanisme, ce sont les dispositions les plus restrictives entre ce document et le PPRNmt qui s'appliquent.

4.2 — Information des citoyens

La majorité des informations sont également consultables sur le site www.georisques.gouv.fr afin de garantir leur accessibilité.

Les citoyens ont droit à l'information sur les risques naturels auxquels ils sont soumis sur leur territoire et sur les mesures prescriptives prises. Ce droit est codifié dans le code de l'environnement aux articles L. 125-2, L. 125-5, L. 563-3 et R. 125-9 et R. 125-27. Cette information répond à plusieurs objectifs :

- Avertir des dangers auxquels est exposé le citoyen ;
- Prendre des mesures préventives pour réduire sa vulnérabilité ;
- S'assurer des moyens de protection et de secours mis en œuvre par l'autorité publique ;
- Adopter un comportement responsable face aux risques et surpasser le sentiment d'insécurité ;
- Participer à la mémoire collective.

Dans le cadre d'un PPRNmt, cette information est une obligation pour les communes concernées. Par ailleurs, conformément à l'article R. 125-9 et suivants du code de l'environnement, la commune est inscrite dans un dossier départemental sur les risques majeurs (DDRM) établi par le préfet ; et le maire doit établir son document d'information communal sur les risques majeurs (DICRIM) dès l'approbation du PPRN. Ces documents seront transmis dans le cadre de l'information acquéreurs-locataires (IAL) lors de la location ou de la vente d'un bien.

Le maire organise les modalités de l'affichage dans la commune mais celui-ci peut être rendu obligatoire dans les cas suivants (art. R. 125-14 du code de l'environnement) :

- Établissements recevant du public au sens de l'article R. 123-2 du code de la construction de l'habitat dès lors que la capacité dépasse cinquante personnes ;
- Immeubles destinés à l'exercice d'une activité industrielle, commerciale, agricole ou de service dès lors que la capacité dépasse cinquante personnes ;
- Terrains aménagés pour les campings et les campings-cars ;
- Locaux à usage d'habitation regroupant plus de quinze logements.

Il doit obligatoirement organiser la consultation des documents de référence en mairie et informer par des moyens appropriés (réunions publiques, affichages, mesures de publicité) ses administrés au moins une fois tous les deux ans.

L'ensemble de ces informations sont disponibles sur le site de la Préfecture de la Moselle (www.moselle.pref.gouv.fr).

La loi n°2004-811 du 13 août 2004 relative à la modernisation de la sécurité civile impose au maire dans les communes dotées d'un plan de prévention des risques naturels prévisibles approuvé (PPRN) l'élaboration d'un Plan communal de Sauvegarde (PCS). Ce plan est un outil opérationnel servant à l'évaluation et au diagnostic des risques, prévoyant l'organisation pour une gestion globale de la crise, la formation du personnel et des acteurs locaux impliqués dans la crise et responsables aux différents niveaux.

Il doit également être porté à l'information des populations concernées de façon à prévenir, alerter et anticiper toute panique ou réactions incontrôlées.

4.3 — En matière d'assurance

L'indemnisation des catastrophes naturelles est régie par la loi du 13 juillet 1982 qui impose aux assureurs, pour tout contrat d'assurance dommages aux biens et aux véhicules, d'étendre leur garantie aux effets de catastrophes naturelles.

Dès qu'un assureur accepte d'assurer des biens (habitation, voiture, mobilier...), il est obligé de les garantir contre les dommages résultant d'une catastrophe naturelle (loi du 13 juillet 1982), sauf pour certaines constructions trop vulnérables. Le législateur a voulu protéger l'assuré en instituant une obligation d'assurance des risques naturels. En contrepartie, il incite fortement l'assuré à prendre les précautions nécessaires à sa protection.

Ainsi, l'obligation d'assurance et l'indemnisation en cas de sinistre seront fonctions notamment de :

- l'existence d'une réglementation tendant à prévenir les dommages causés par une catastrophe naturelle. C'est le cas du plan de prévention des risques (PPR)
- la mise en œuvre des moyens de protection dans les zones exposées aux risques naturels.

Le PPR indique quelles sont les zones où toutes constructions sont interdites et celles où elles sont autorisées, à condition de mettre en œuvre diverses mesures permettant de réduire leur vulnérabilité aux risques naturels. La réglementation établie par le PPR s'impose aux constructions futures mais aussi aux constructions existantes.

L'assureur n'a pas l'obligation d'assurer les nouvelles constructions bâties sur une zone déclarée inconstructible par un PPR. Lorsque que la construction est réalisée dans une zone réglementée, les mesures de prévention prévues par le PPR doivent être prises en compte pour bénéficier de l'obligation d'assurance.

L'obligation d'assurance s'applique aux constructions existantes quelle que soit la zone réglementée. Le PPR peut prescrire des travaux à réaliser dans un délai de 5 ans ; ce délai peut être plus court en cas d'urgence.

Selon le guide pratique sur les catastrophes naturelles de la Mission Risques Naturels, en cas de non-respect des prescriptions du PPR passé le délai de cinq ans après l'approbation de ce dernier, l'assureur pourra demander au Bureau Central de Tarification (BCT) de fixer les conditions d'assurance : le montant de la franchise de base pourra être majoré jusqu'à 25 fois, et selon le risque assuré, un bien mentionné au contrat pourra éventuellement être exclu. Le préfet et le président de la Caisse Centrale de Réassurance (CCR) pourront également saisir le BCT s'ils estiment que les conditions dans lesquelles le bien est assuré sont injustifiées eu égard au comportement de l'assuré ou à l'absence de toute mesure de précaution.

4.4 — Financement par le fonds de prévention des risques naturels majeurs de certaines mesures de prévention (note technique du 11 février 2019)

L'objectif d'un PPRNmt est de mettre en sécurité les biens et les personnes concernées par le risque mis en évidence sur le territoire communal. Le PPRNmt peut prescrire des mesures relatives aux biens et activités existants afin d'en réduire leur vulnérabilité.

Les travaux de prévention imposés à des biens construits ou aménagés avant l'approbation du plan et mis à la charge des propriétaires, exploitants, ne peuvent porter que sur des aménagements limités dont le coût est inférieur à 10 % de la valeur vénale ou estimée du bien à la date d'approbation du plan. Dans le cas où le coût serait supérieur à 10 %, le propriétaire pourra ne mettre en œuvre que certaines de ces mesures de façon à rester dans la limite des 10 % définie ci-avant. Elles seront choisies sous sa responsabilité, selon un ordre de priorité visant en premier lieu à assurer la sécurité des personnes et en second lieu à minimiser le montant des dommages potentiellement entraînés par le risque « mouvement de terrain », objet du PPRNmt. Passé le délai imposé par l'article R.562-5 du code de l'Environnement, le préfet peut procéder à une mise en demeure, voire ordonner la réalisation de ces mesures aux frais du propriétaire.

Conformément à la fiche II-2-(6) de la circulaire, ces financements sont envisageables pour les biens à usage d'habitation ou utilisés dans le cadre d'activités professionnelles couverts par un contrat d'assurance incluant la garantie CatNat. Le PPRNmt rend obligatoire des mesures d'aménagement, d'utilisation et d'exploitation sur les biens immobiliers existants à la date d'approbation du plan. Les personnes concernées par ces financements sont les personnes physiques ou morales propriétaires, exploitants ou utilisateurs des biens, sous réserve, lorsqu'il s'agit de biens à usage professionnel, d'employer moins de vingt salariés. Les dépenses éligibles sont les coûts des mesures relatives à l'aménagement, l'utilisation ou l'exploitation des biens concernés définies et rendues obligatoires dans un certain délai par un PPRNmt approuvé, déduction faite des indemnités d'assurance versées au titre de la garantie CatNat pour la réalisation d'études et de travaux de réparation susceptibles de contribuer à la réalisation des mesures de prévention éligibles.

Les études et travaux de prévention éligibles à ce financement doivent avoir été définis en application du 4° du II de l'article L. 562-1 du code de l'environnement et leur réalisation rendue obligatoire dans un délai de 5 ans au plus, conformément au III de ce même article, par un PPRN approuvé.

L'article L. 561-3 du code de l'Environnement fixe la nature des dépenses du FPRNM qui peuvent être engagées pour réduire le risque et les conditions auxquelles ces dépenses sont subordonnées. L'article 136 de la loi de finances n°2005-1719 du 30 décembre 2005 modifiée par l'article 125 de la loi de finances n°2016-1917 du 29 décembre 2016 fixe les limites maximales à hauteur duquel le fonds peut être engagée. *A titre d'exemple, le taux maximum de financement pour un PPRN approuvé est de 50 % pour les études, 40 % pour les travaux, ouvrages ou équipements de prévention, de 40 % pour les travaux, ouvrages ou équipements de protection, 40 % pour les biens à usage d'habitation et 20% pour les biens à usage professionnel.*

4.5 — Recours des tiers

À compter de l'approbation du PPRNmt, les tiers concernés par la mise en œuvre du PPRNmt peuvent engager un recours gracieux devant le Préfet de département de la Moselle ou devant le Tribunal administratif de Strasbourg dans un délai de 2 mois à compter de la publication de l'arrêté d'approbation du présent PPRNmt.

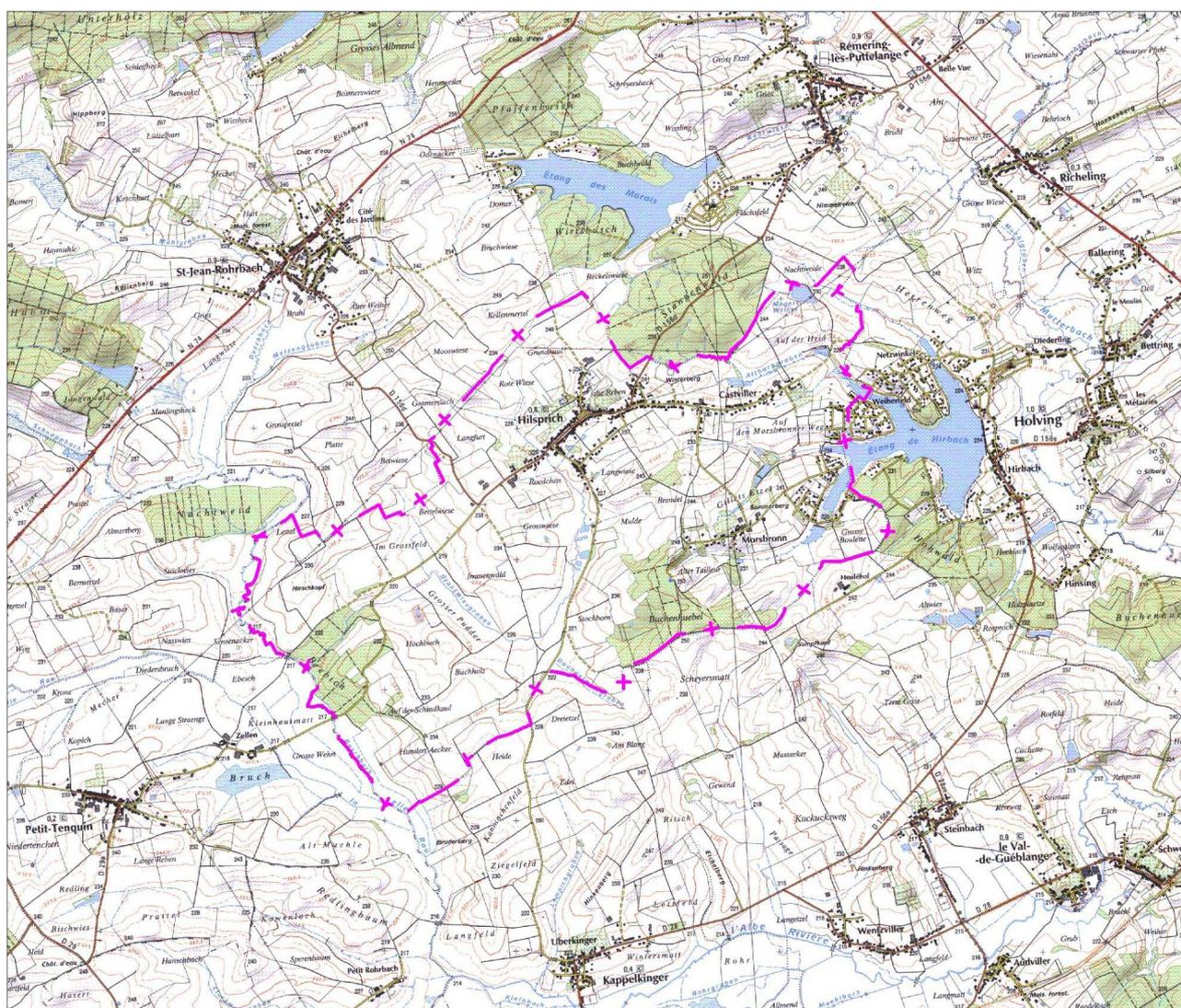
C - CONTEXTES ORGANISATIONNEL ET GÉOLOGIQUE DU VILLAGE

1 - SITUATION COMMUNALE SPATIALE

a – Localisation de HILSPRICH

La commune rurale et agricole de HILSPRICH, qui compte une population totale de 907 habitants au recensement de 2011, est située dans la partie est du département de la Moselle, à 12 kms de SARRALBE, 25 kms de FORBACH et 70 kms de METZ.

Dans un environnement très peu boisé, le territoire communal s'étend sur 1 034 hectares. De grands espaces de plaine, avec une topographie oscillant entre 215 m et 235 m, entourent le village. Seuls la rue de l'Eglise, au nord, gravite à 252 m d'altitude et le château d'eau, à l'opposé, à 254 m.



b – Morphologie du village

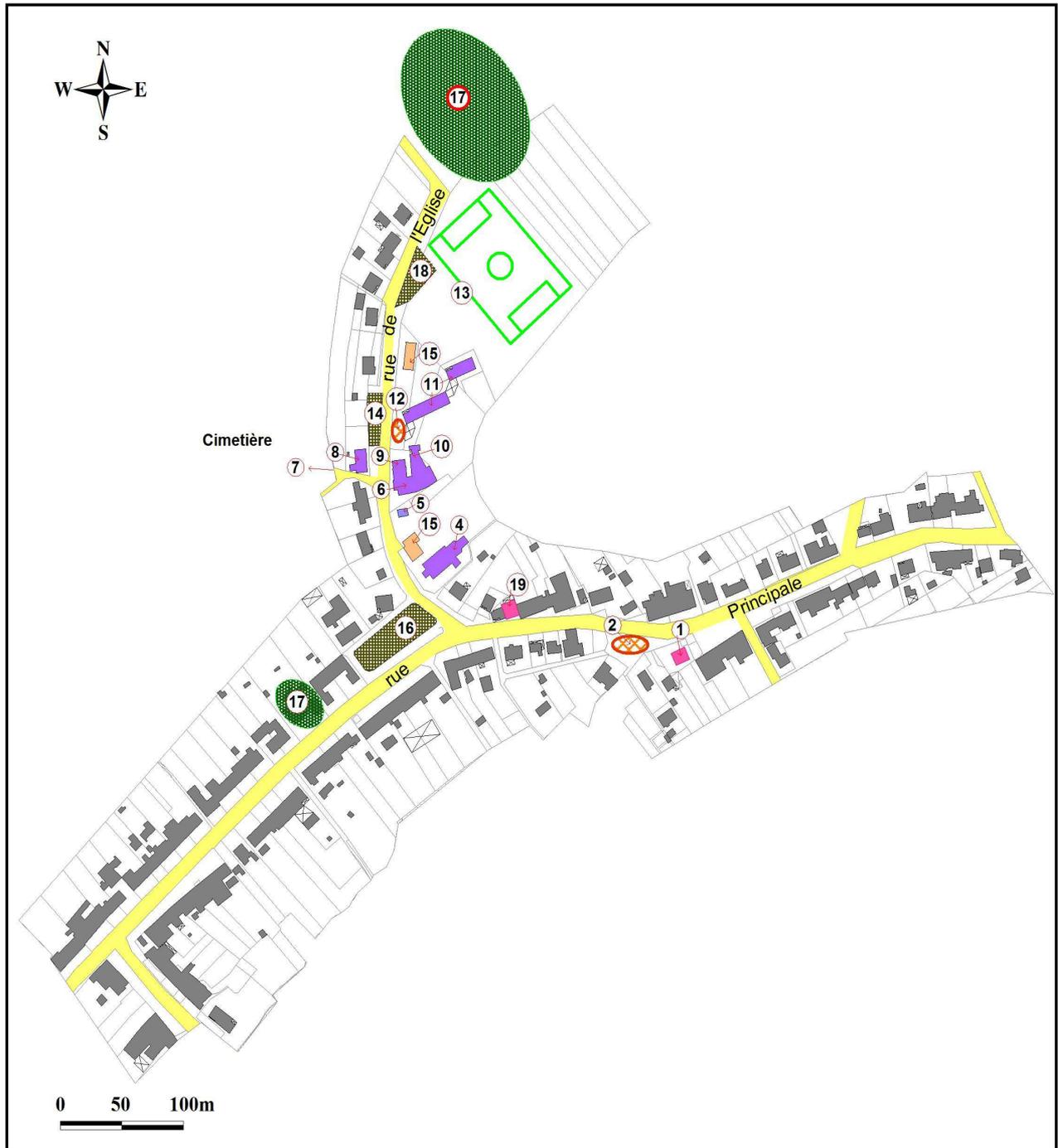
Les différents secteurs urbanisés se sont organisés chronologiquement :

- en linéaire, le long de la rue principale (RD 156d) qui traverse la commune (la reliant aux communes de ST-JEAN-ROHRBACH et RÉMERING-LES-PUTTELANGE). Il s'agit, pour **cette portion du bourg, de la partie la plus ancienne** rue principale, rue de l'Église), avec ses habitations accolées et ses traditionnels usoirs, qui témoignent de la présence de nombreuses fermes ;



Outre l'habitat, cette portion du village est animée par la présence :

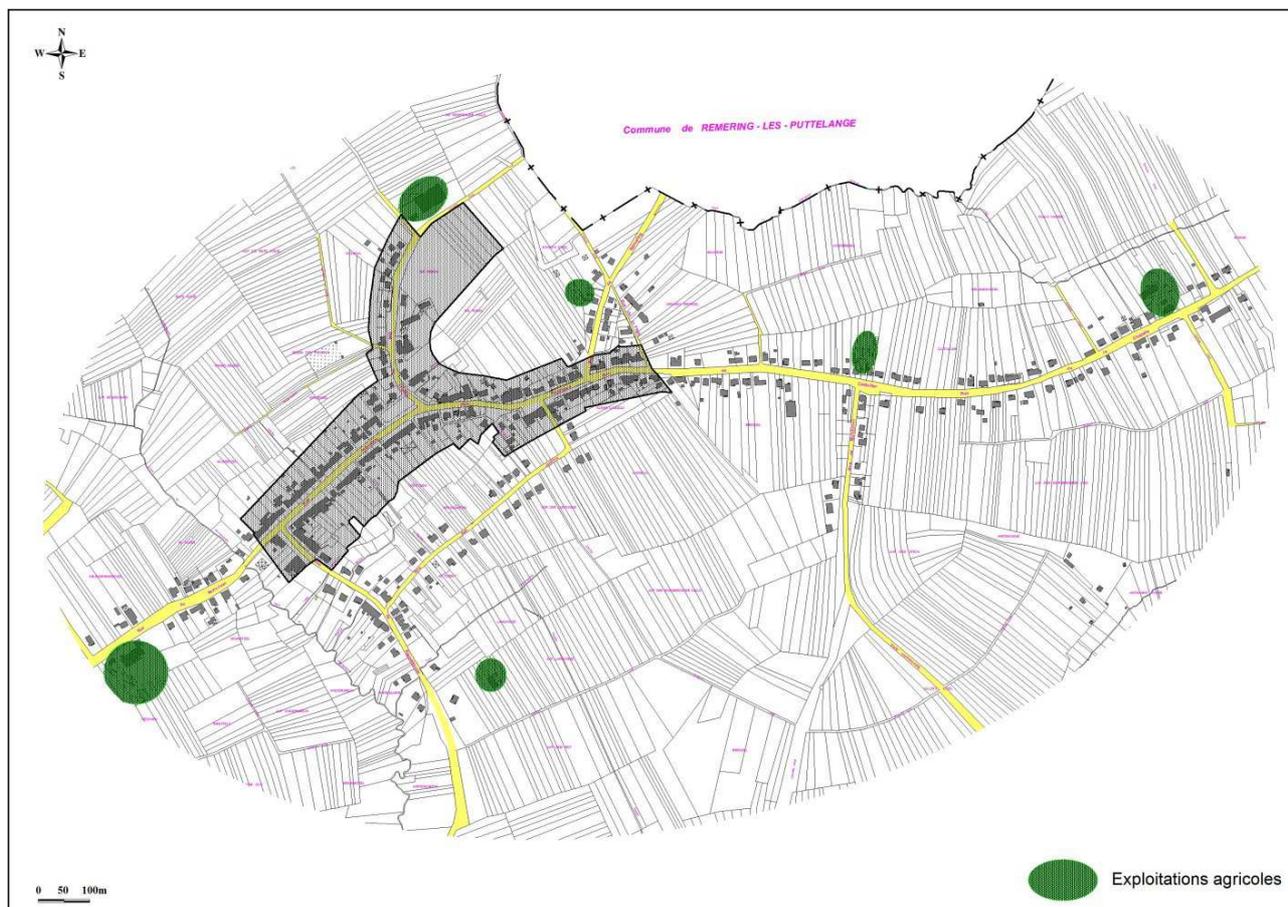
- d'exploitations agricoles actives (n°17) ;
- de services publics, tels que la mairie (n°6) et en vis-à-vis les locaux des services techniques (n°8), le foyer rural (n°9), la salle socio-culturelle (n°10), l'école primaire et maternelle (n°11) et son parking (n°14), les sapeurs pompiers (n°5), les stade et terrain de sport (n°13) et parking (n°18), de petits espaces jeux (n°12 et 2) ;
- de l'église (n°4), le parking (n°16) et le presbytère réhabilité en logements communaux (n°15) (un second bâtiment offre d'autres logements) et le cimetière (n°7) ;
- d'activités (menuiserie, dépôt de gaz – n°19, banque – n°1).



- à partir de l'axe principal (RD 156d), **un réseau de voies communales dessert les quartiers plus récents** où l'implantation des constructions, de type pavillonnaire, est espacée et les abords des propriétés aménagés et clôturés. Il s'agit des rues du Jardin, de Rémering, de la Forêt et de Castviller, rues St-Jean et de Kappelkinger, rues de Morsbronn et de la Chapelle.



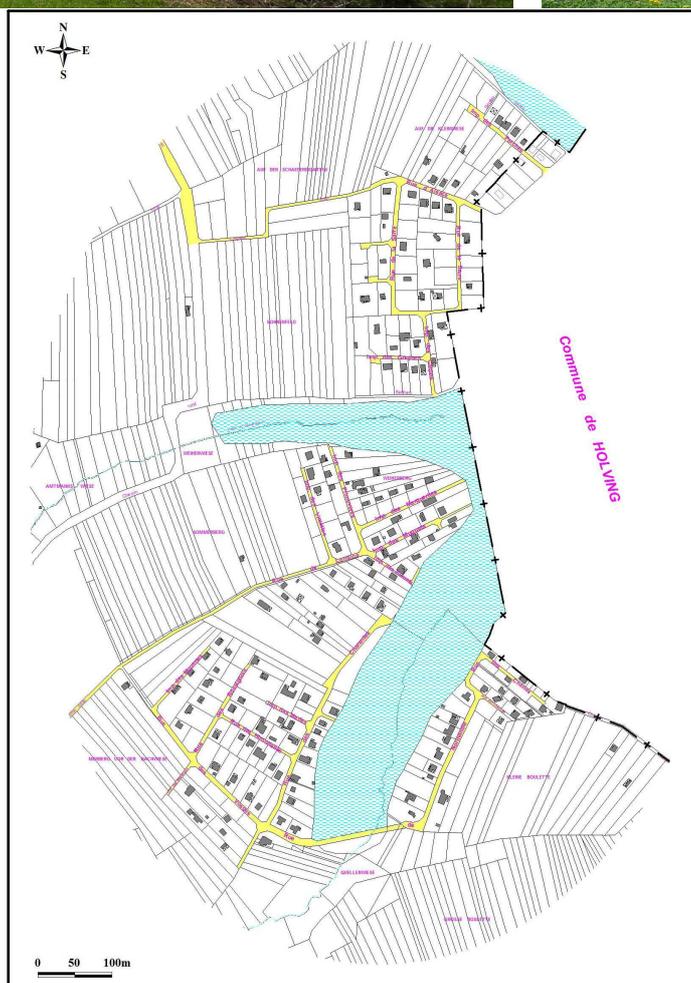
Dans ces secteurs, essentiellement occupés par de l'habitat, sont également implantées plusieurs exploitations agricoles ou activités connexes (bergerie).



- au sud du bourg, l'entrée nord du **hameau de Morsbron** est marquée par l'implantation de plusieurs bâtiments agricoles plus ou moins récents. L'habitat se développe dans la rue de Lorraine, le Chemin de la Fontaine et la rue de Château d'eau, où se trouve une modeste chapelle.

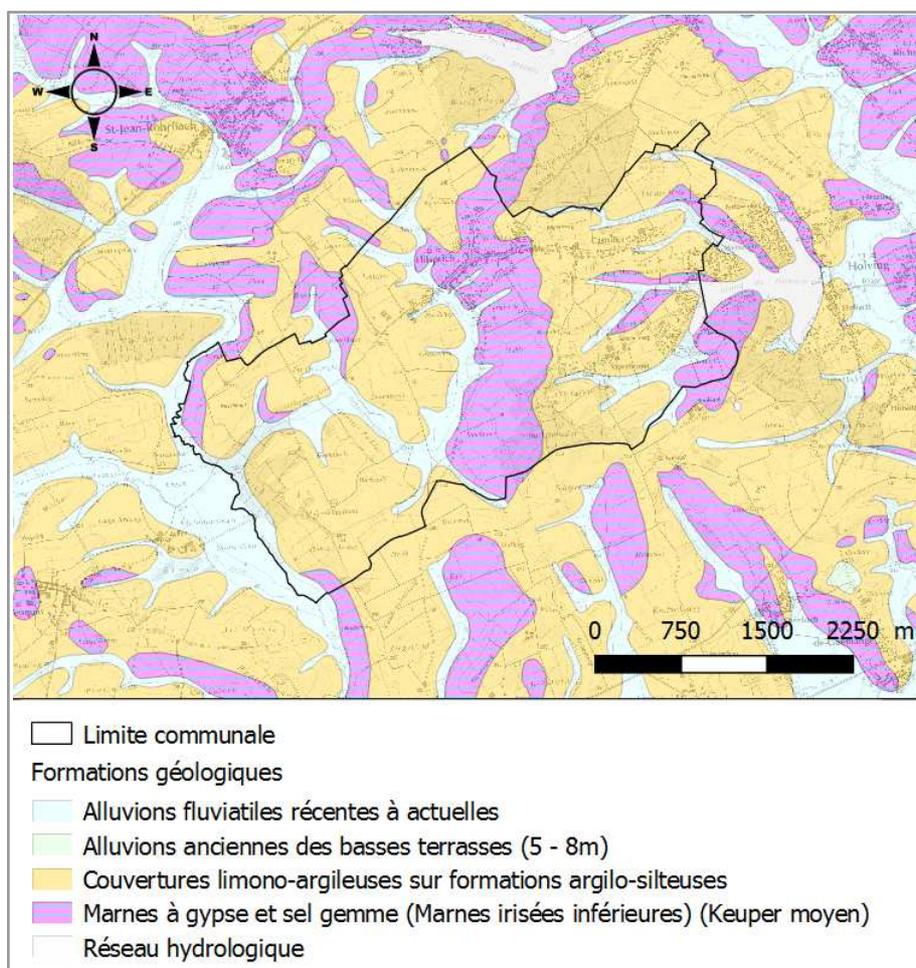


- **autour de l'étang de Hirbach** qui s'étend sur une faible emprise du territoire communal de HILSPRICH. D'une vocation saisonnière initiale, avec des résidences secondaires de type chalet et de petit volume, ce secteur a fortement évolué par l'installation de résidences à usage d'habitat principal. Ainsi se côtoient une multitude de constructions particulièrement hétéroclites sur le plan architectural. L'aménagement des rues se rapproche de l'agencement du lotissement, par les voies nommées :
 rue des Vosges, impasse des Mouettes, impasse des Mésanges, rue des Rossignols, rue des Hirondelles, impasse des Merles, rue des Charentes, rue de Normandie, rue des Chênes, Impasse des Charmes
 rue de Lorraine, impasse des Bleuets, impasse des Muguetts, impasse des Primevères, impasse des Marguerites, impasse des Violettes
 rue d'Alsace, rue de la Sarre, impasse des Carpes, impasse des Goujons, impasse des Perches



2 - CONTEXTE GÉOLOGIQUE

La commune de HILSPRICH se situe sur les formations des marnes irisées inférieures du Keuper inférieur (Illustration ci-dessous). Elle est constituée par des marnes et argiles aux teintes variées comprenant de nombreuses intercalations de gypse et d'anhydrite et amas lenticulaires souvent importants et renferment de puissantes masses de sel gemme (Cartannaz, 2013).



Carte géologique à l'affleurement de la commune de Hilsprich sur fond scan 25
(Issu de la carte géologique au 1/50 000ème du BRGM)

D - MOUVEMENTS DE TERRAIN A HILSPRICH ET INVESTIGATIONS

1 - APPARITIONS ET MANIFESTATIONS DES DÉSORDRES

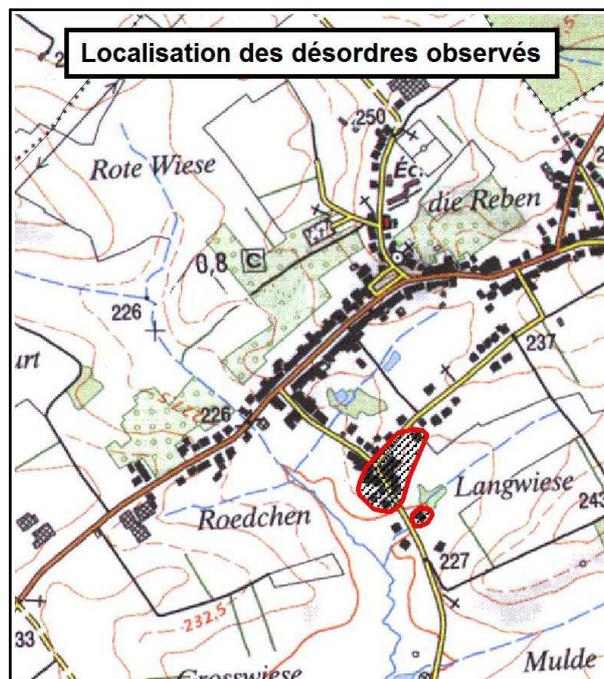
En dehors d'un aléa moyen de «retrait-gonflement des sols argileux», et d'un aléa faible de sismicité» aucun autre type d'événement lié au sol et en sous-sol n'était recensé jusqu'alors à HILSPRICH.

C'est à partir de l'année 2006 que des phénomènes surviennent sur la commune, constatés tout d'abord par la formation d'un bourrelet sur la route, dans la rue de Kappelkinger, puis par l'apparition de fissures sur une maison. Après une courte période d'accalmie, de nouveaux mouvements sur des constructions (tels que fissures, ouvertures de portes et fenêtres difficiles, maison inclinée de 1,8...), des murs (déplacé des fondations sur 8cm) et au sol (revêtements d'accès pavés disjoints...) alertent la population.





Concernant les constructions, les dégâts constatés impactent une quinzaine de maisons du village d'HILSPRICH situées dans la rue de Kappeklinger et une partie de la rue des Jardins.



La propagation des dégâts conséquents endommageant gravement les constructions et la vitesse d'évolution des mouvements recensés par les habitants du village ont justifié des interventions de différentes compétences pour identifier ces désordres d'origine géologiques.

2 - INVESTIGATIONS ET ÉTUDES MENÉES

Les premiers désordres, apparus en 2006, au niveau de plusieurs maisons et sur le réseau routier communal ont continué à s'aggraver avec le temps, ce qui a conduit la Mairie de HILSPRICH à alerter les services de l'État.

Après avoir pris connaissance de ces sinistres, les services de l'État ont entrepris à partir de 2008, diverses démarches techniques, scientifiques et administratives, pour déterminer la cause des mouvements de terrain, accompagner collectivement et individuellement les habitants de la commune en situation sinistrée et enfin définir les moyens pour prévenir, réduire et/ou stopper ces phénomènes.

Des missions d'expertise et investigations ont été conduites :

→ par le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (CEREMA) de l'Est – ex Centre d'Études Techniques de l'Équipement (CETE) de l'Est :

- Diagnostic géotechnique – Mars 2009. dossier n° 2008-D65-105 ;
- Suivi des affaissements – mars 2011. dossier n° 2009-65-057.

→ par le Bureau des Recherches Géologiques et Minières (BRGM) ,

La mise en œuvre d'investigations par interférométrie radar satellitaire, géophysique électrique, sondages, etc., a permis au BRGM d'élaborer, début 2014, une carte de l'aléa affaissement lié à la dissolution d'évaporites (sel) sur une grande partie du ban communal d'HILSPRICH. L'étude du BRGM a fait l'objet du rapport BRGM/RP-62744 d'octobre 2013, consultable sur le site internet du BRGM, en mairie de HILSPRICH et à la DDT de la Moselle.

Un piézomètre dans la nappe salée a été également mis en place (sondage HIL2) dont les diagraphies électriques ont montré une imprégnation en saumure au toit de la couche de sel sain s'étendant sur près de 20 m d'épaisseur. Cette nappe salée se présenterait sous forme de plusieurs horizons aquifères séparés par des argilites plus ou moins aquifères et de dispersion spatiale hétérogène.

Compte tenu du caractère évolutif du phénomène et de la nécessité de comprendre son mécanisme, le BRGM a été missionné pour poursuivre les investigations. Dans ce cadre, l'acquisition de nouvelles données (géologique, géophysique et topographique) a permis au BRGM d'élaborer en 2017 une nouvelle cartographie de l'aléa affaissement.

Parallèlement à ces démarches techniques et scientifiques :

- le 10 novembre 2009, la commune d'HILSPRICH est déclarée en état de catastrophe naturelle « mouvements de terrain », pour les affaissements intervenus du 01.09.2007 au 25.02.2009. Cette reconnaissance CAT.NAT est renouvelée par arrêté interministériel le 28 juillet 2014, au titre des mouvements de terrain (hors tassement différentiel) apparus du 08.09.2012 au 31.12.2013 ;
- le Préfet de la Moselle porte à la connaissance du maire, le 13.08.2010, des mesures de maîtrises de l'urbanisation relatives aux mouvements de terrain de type affaissement sur le territoire communal à mettre en place sur chacun des projets de construction, dans le cadre de la délivrance des permis de construire relevant de sa compétence. Cette disposition est reprise le 28.02.2014, sur la base de l'avancement des connaissances et dans l'attente de l'approbation du présent PPRN.

Enfin, dans un souci de transparence et d'information, la population a été invitée à assister à quatre réunions publiques, les 28 avril 2009, 06 mars 2012, 09 janvier 2014, et 10 octobre 2017 animées par M. le Maire d'HILSPRICH et les sous-préfets de Sarreguemines, avec la participation du BRGM et des services de l'État (sous-préfecture, direction départementale des territoires de Metz-service prévention des risques naturels, délégation territoriale de Sarreguemines).

3 - RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION DES INVESTIGATIONS SCIENTIFIQUES

Le BRGM a mené et exploité des données géologiques, géophysiques et de suivis topographiques développées ci-après.

A – Investigations géologiques

La réalisation des études entre 2010 et 2013 s'est appuyée sur 3 forages carottés (Illustration 1) ; HIL 1 réalisé jusque 99,6 m de profondeur, HIL 2 jusque 77,15 m de profondeur et HIL 3 jusque 75,45 m de profondeur (Cartannaz, 2013 ; Cartannaz and Midot, 2012) . Les variations lithologiques sont rares dans ces forages (alternance d'évaporites et d'argilite) et comme aucune dolomie n'a été décrite dans les terrains traversés par les forages, seules les évaporites peuvent être utilisées pour les corrélations entre forages.

Ces premières investigations ont permis de montrer que les différents niveaux riches en gypse traversés par les sondages sont difficilement corrélables d'un sondage à l'autre. Le seul marqueur repère qui puisse être utilisé de façon sûre est la polyhalite qui s'organise en deux niveaux, le niveau inférieur étant plus riche que le niveau supérieur. Les corrélations réalisées entre HIL 1 et HIL 2 (Illustration 2) permettent de terminer un rejet vertical de la principale structure faillée NW-SE d'au moins 30 m (Cartannaz, 2013).

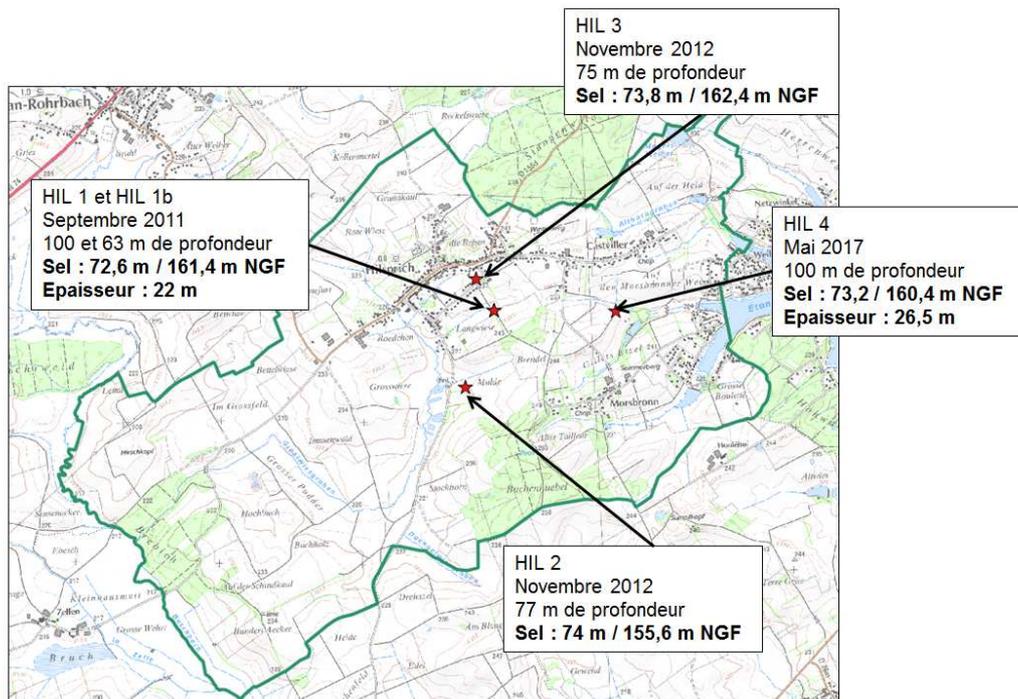


Illustration1 : Localisation des forages réalisés sur la commune de Hilsprich (fond IGN scan 25) – indication du toit du sel

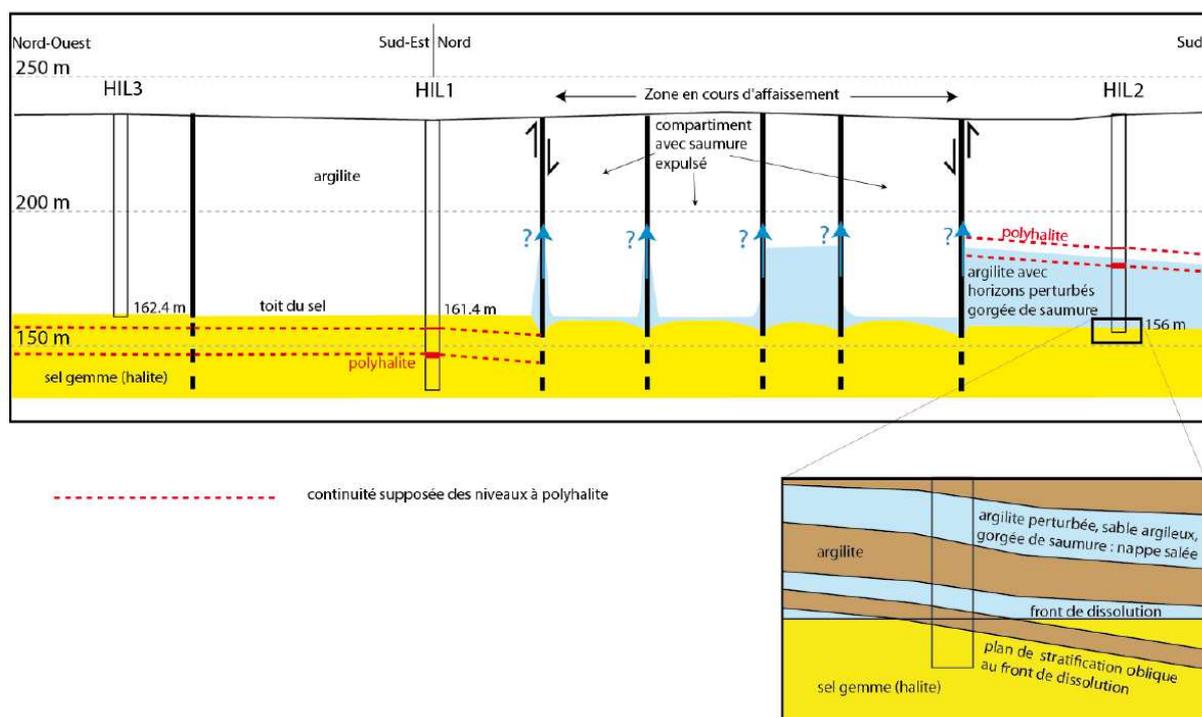


Illustration 2 : Coupe schématique avec tentative de corrélation entre les trois forages et interprétation de l'organisation de la nappe salée (symbolisée en bleu) (Cartannaz, 2013)

Nouvelle investigation: forage carotté HIL 4

L'objectif du forage HIL 4 réalisé en 2017 était de valider le modèle géologique proposé sur le secteur. Le forage carotté permet de déterminer les évaporites présentes, leur proportion et leur extension. Le forage a fait l'objet de mesures diagraphiques (Lim Logging, 2017) afin de vérifier la présence ou non d'une nappe salée.

Les mesures de diagraphies ont permis de mettre en évidence des unités distinctes jusqu'au toit du sel (repéré à 72,4 m de profondeur¹) et 4 faisceaux de sel au sein des couches de sel entre 72,4 et 100 m de profondeur.

Le forage a traversé des terrains composés principalement d'argilite plus ou moins indurée entre la surface et 73,17 m de profondeur. Des intercalations de gypse et d'anhydrite sont également présentes sur cet intervalle (Lim Logging, 2017) .

À partir de 73,17 m de profondeur, la présence de sel devient majoritaire et s'intercale avec des couches d'argilite plus ou moins épaisses. On peut distinguer 4 niveaux de sel (avec plus de 50 % de sel dans la roche) dans le forage :

1 Du sel a été repéré en forage à partir de 72,4 m de profondeur. Le sel devient majoritaire à partir de 73,17m de profondeur.

profondeur min	profondeur max	Epaisseur	Description	
72.2	73.2	1	nodules millimétriques de sel gris	
73.2	75.2	2	sel translucide gris-rose (70 % à 85 %) avec poly halite et argilite	Niveau de sel 1
75.2	75.6	0.4	sel gris (90 %) avec poly halite et argilite	Niveau de sel 1
75.6	75.9	0.3	sel gris/brun (95 %) avec argilite	Niveau de sel 1
75.9	76.2	0.3	sel orangé à gris (80 %) avec argilite	Niveau de sel 1
76.2	77.6	1.4	rares fragments de sel (1 % à 10 %)	
77.6	80	2.4	sel gris (95 %) avec argilite	Niveau de sel 2
80	80.2	0.2	sel brun translucide (60 %) avec argilite	Niveau de sel 2
80.2	81.3	1.1	sel gris (90 % à 95 %) avec argilite	Niveau de sel 2
81.3	82.3	1	sel (20 à 30 %) avec poly halite et argilite	
82.3	84.2	1.9	sel gris (100 à 95 %) avec argilite	Niveau de sel 3
84.2	84.4	0.2	sel (5 %) avec argilite	Niveau de sel 3
84.4	86.7	2.3	sel gris (95 %) avec argilite	Niveau de sel 3
86.7	87.1	0.4	sel (20 à 30 %) avec poly halite et argilite	
87.1	87.3	0.2	sel gris translucide 100 %	
87.3	87.5	0.2	sel (20 %) avec argilite	
87.5	91.9	4.4	Sel gris-blanc (95 %)	Niveau de sel 4
91.9	92.2	0.3	sel gris (95 %) présence de poly halite	Niveau de sel 4
92.2	93.3	1.1	sel gris (70 %) avec poly halite et argilite	Niveau de sel 4
93.3	94.3	1	sel gris rose (95 %) avec poly halite et argilite	Niveau de sel 4
94.3	94.6	0.3	sel (10 %) avec poly halite et argilite	
94.6	99.6	5	sel gris-rose translucide (95 %) avec poly halite et argilite	Niveau de sel 4
Fin du forage sans sel				

Illustration3 : Description du sel dans le forage HIL 4



Illustration4 : Apparition du sel dans le forage (caisse carotte 72.5m – 74.5 m)

Présence de polyhalite

La polyhalite est présente sous forme de nodule et lentilles dans la roche de taille variable. Trois niveaux repères contenant plus de 60 % de polyhalite ont été observés (Illustration 5) :

- niveau de polyhalite à 70 % entre 72,18 m et 72,55 m de profondeur : polyhalite rougeâtre avec intercalation d'argilite grisâtre et de sel rose ;
- niveau de polyhalite massif en lentille (100 %) de 2 cm entre 91,88 m et 91,9 m de profondeur ;
- niveau de polyhalite rouge vif à 60 % entre 99,6 m et 99,7 m de profondeur en inclusion dans des argilites grises.



Dans les argilites



Dans le sel

Illustration5 : Présence de polyhalite dans le forage

Synthèse

1 – Présence de sel

Les observations géologiques et les diagraphies réalisées sur le sondage HIL 4 confirment la présence d'une formation de sel au nord de la commune de Hilsprich.

Les forages réalisés sur la commune de Hilsprich montrent une couche de sel dont le toit se situe entre 155,6 et 162,4 m NGF (respectivement HIL 2 et HIL 3). Bien que la formation salifère n'a jamais été totalement traversé par les forages réalisés sur la commune de Hilsprich, cette formation a été reconnue sur une puissance minimale de 26,5 m dans le forage HIL 4.

Nom forage	Z (m)	Sel		
		Profondeur (m)	Cote (m NGF)	Épaisseur minimum (m)
HIL 1	234	72,6	161,4	22
HIL 2	229,6	74	155,6	3
HIL 3	236,2	73,8	162,4	2
HIL 4	233,6	73,2	160,4	26,5

Illustration6 : Toit du sel dans les forages de la commune de Hilsprich

Les caractéristiques du sel rencontré dans les forages sont les suivantes :

- les forages HIL 2 et HIL 3 n'ont rencontré qu'une seule passe de sel (à partir de 155,6 m NGF dans le forage HIL 2 et à partir de 162,4 m NGF dans le forage HIL 3). Le forage s'est arrêté dans le sel. Dans les deux forages, le contact avec le sel est franc.

- les forages HIL 1 et HIL 4, plus profonds, ont rencontré plusieurs passes de sel. Le contact avec le sel est plus diffus :
 - dans le forage HIL 1, au toit du sel, la formation comprend de rares nodules millimétriques de sel gris entre 69,4 et 72,6 m de profondeur. 4 niveaux de sel peuvent être distingués avec des intercalations d'argilite majoritaire (moins de 5 % de sel) de 1,2 à 1,8 m de puissance (Illustration 7) ;
 - dans le forage HIL 4, au toit du sel, la roche comprend également de rares nodules millimétriques de sel entre 72,18 et 73,17 m. Le forage HIL 4 comprend également 4 niveaux de sel avec des intercalations d'argilite majoritaire (plus de 50 %).

Forage HIL 1 (Z 234 m NGF)				
Profondeur min (m)	Profondeur max (m)	Epaisseur	description	
69.4	72.6	3.2	Rares nodules millimétriques de sel gris	-
72.6	73.4	0.8	Sel gris-beige	Niveau de sel 1
73.4	75.2	1.8	Nodules centimétriques de sel orange (5 %)	-
75.2	77	1.8	Sel gris avec 1 à 5% d'argilite	Niveau de sel 2
77	77.5	0.5	Sel gris avec poly halite	Niveau de sel 2
77.5	78.8	1.3	Sel gris avec 1 à 5 % d'argilite	Niveau de sel 2
78.8	79.8	1	Rare passée millimétrique de sel	-
Intercalation sans sel: 0.65 m				-
80.45	81.4	0.95	Sel gris à orangé	Niveau de sel 3
Intercalation sans sel: 0.1 m				
81.5	81.95	0.45	Sel gris	Niveau de sel 3
Intercalation sans sel: 0.05 m				
82	84.4	2.4	Sel gris	Niveau de sel 3
84.4	86.15	1.75	Sel translucide blanc	Niveau de sel 3
86.15	87.7	1.55	Sel gris avec poly halite	Niveau de sel 3
87.7	90	2.3	Sel gris	Niveau de sel 3
90	90.4	0.4	Sel orangé (20 %) avec argilite	Niveau de sel 3
90.4	93.7	3.3	Sel gris (90%) avec argilite	Niveau de sel 3
93.7	96	2.3	Sel avec poly halite	Niveau de sel 3
96	97.5	1.5	Sel gris orangé (95%) avec argilite	Niveau de sel 3
97.5	97.8	0.3	Sel gris avec poly halite	Niveau de sel 3
Intercalation sans sel: 1.2 m				-
99	99.6	0.6	Sel gris à orangé	Niveau de sel 4

Illustration7 : Caractéristique du sel dans le forage HIL 1 sur la commune d'Hilspriech

2 – Présence de polyhalite

Le forage HIL 3 est le seul forage n'ayant pas recoupé de polyhalite. Dans les autres forages, la polyhalite est présente en pourcentage variable, mélangée à du gypse et des argilites (illustration 8). Sur ces forages la polyhalite a été rencontrée entre 134 m NGF et 184,5 m NGF :

- les forages HIL 1 et HIL 4 montrent de nombreuses corrélations et des niveaux repères équivalents. Les niveaux de polyhalite se situent entre 157 et 136,5 m NGF dans le forage HIL 1 et entre 161,4 et 134 m NGF dans le forage HIL 4. Ces niveaux sont associés à de l'argilite et du sel en proportion variable. L'épaisseur cumulée des formations comprenant de la polyhalite est de 4,65 m pour HIL 1 et 9,88 m pour HIL 4 ;
- le forage HIL 2 montre des niveaux de polyhalite beaucoup plus élevés en altitude, entre 185,7 et 179,75 m NGF. Ces niveaux ne sont pas associés à du sel mais à des argilites et du gypse. L'épaisseur cumulée des formations avec de la polyhalite est de 1,9 m.

Nom forage	Z (m)	Polyhalite				Sel	
		profondeur min (m)	profondeur max (m)	épaisseur (m)	pourcentage %	côte min (m NGF)	sel associé
HIL 1	234	77	77,5	0,5		157	présence de sel
		86,15	87,7	1,55		147,85	présence de sel
		93,7	96	2,3		140,3	présence de sel
		97,5	97,8	0,3		136,5	présence de sel
HIL 2	229,6	43,9	44,1	0,2		185,7	non
		45,1	45,35	0,25	30 à 40	184,5	non
		49,85	51,3	1,45	30 à 60	179,75	non
HIL 4	233,6	72,18	72,55	0,37	70	161,42	sel 10%
		73,17	75,64	2,47	5 à 10	160,43	sel 70 à 90%
		91,88	91,9	0,02	100	141,72	non
		92,15	94,3	2,15	5 à 10	141,45	sel 80 à 95%
		94,3	94,6	0,3	40	136,3	sel 20%
		94,6	94,7	0,1	5	139	sel 95%
		94,7	94,9	0,2	20	138,9	sel 70%
		95,43	99,6	4,17	10	138,17	sel 90%
	99,6	99,7	0,1	60	134	sel 10%	

Illustration8 : Caractéristiques de la polyhalite dans les forages – comparaison dans les forages réalisés sur la commune de Hilsprich

L'interprétation réalisée par le BRGM en 2013 indique que l'absence de polyhalite associée au sel dans le forage HIL 2 résulte probablement d'une dissolution du sel (Cartannaz, 2013). Seule reste la polyhalite qui se dissout moins bien que le sel gemme. Cette hypothèse est étayée par la présence dans le forage HIL 2 :

- d'une nappe salée au toit du sel ;
- de traces de dissolution dès 45 m de profondeur ;
- de niveaux d'argilite complètement disloqués localisés à partir de 66 m de profondeur.

3 – Présence de gypse/anhydrite

L'ensemble des forages présente des évaporites de gypse et anhydrite dans des proportions variables. Le toit des formations comprenant ces évaporites est compris entre 236,2 m NGF et 229,6 m NGF (illustration 9) .

Nom forage	Z (m)	Apparition du gypse et/ou de l'anhydrite		Présence de plus de 50% de gypse et/ou d'anhydrite (non continu)					Toit du sel
		Profondeur (m)	Cote (m NGF)	Épaisseur cumulée (m)	Profondeur minimum (m)	Profondeur maximum (m)	Cote min (m NGF)	Cote max (m NGF)	
HIL 1	234	15	219	3,85	19,1	69,4	214,9	164,6	72,6
HIL 2	229,6	13,6	216	5,15	23,1	49,65	206,5	180	74
HIL 3	236,2	5,5	230,7	12,58	16,1	68,85	220,1	167,35	73,8
HIL 4	233,6	12,8	220,8	5	26,4	73,2	207,2	160,4	73,2

Illustration9 : Caractéristiques du gypse et de l'anhydrite dans les forages de la commune de Hilsprich

Les épaisseurs cumulées sont relativement faibles par rapport aux niveaux de sel pour les forages HIL1, HIL2 et HIL4 (entre 3 et 5 m) :

Seul le forage HIL 3 présente une épaisseur cumulée comprenant plus de 50 % de gypse ou d'anhydrite de 12,58 m entre 16,1 m et 68,85 m.

Aucune corrélation entre les forages n'a pu être mise en évidence. Il est donc probable que les niveaux de gypse et/ou d'anhydrite ne constituent pas des couches homogènes mais plutôt des amas/lentilles hétérogènes.

Ces résultats montrent que les horizons, où le gypse et l'anhydrite sont majoritaires, sont hétérogènes et significatifs (surtout pour le forage HIL3). Cependant, compte tenu qu'aucun indice de dissolution n'a pu être observé sur les carottes et que la présence d'anhydrite (sulfate de calcium non hydraté) a été identifiée, il semble que ces horizons, intercalés dans des niveaux d'argilite peu perméables, soient actuellement préservés des circulations d'eau souterraine et donc de phénomène de dissolution. L'impact en surface d'une dissolution possible du gypse/anhydrite semble donc peu probable actuellement. Les forages ayant été réalisés en dehors de la zone en affaissement, ces observations et interprétations sont valides uniquement pour ce domaine.

En effet, dans la zone en affaissement, la dissolution de la formation de sel en profondeur peut modifier les circulations des eaux souterraines dans la couche d'argilite (infiltration d'eau superficielle par la création de fractures par exemple) et provoquer alors la dissolution de ces formations. Dans ce cas, l'affaissement en surface peut être la conséquence de la dissolution couplée des formations de gypse/anhydrite et de sel. Les moyens mis en œuvre actuellement ne permettent pas de discriminer et de quantifier l'impact de la dissolution de ces différentes formations sur l'intensité de l'affaissement en surface.

Cependant, bien qu'une incertitude demeure sur la discrimination des processus de dissolution responsable du phénomène d'affaissement, l'épaisseur de la couche de sel (supérieur à 25 m), la présence d'une nappe salée et mixte, et sa solubilité plus importante confère vraisemblablement à la dissolution de cette formation le rôle moteur dominant de l'affaissement en surface. Par conséquent, la dissolution potentielle des horizons de gypse/anhydrite peut être considérée comme un épiphénomène : phénomène mineur qui se surajoute à l'affaissement majeur dû à la dissolution du sel.

Enfin, il est important de noter que la réalisation de forages, même de faible profondeur n'atteignant pas la couche de sel, peut activer la dissolution des couches de gypse/anhydrite et provoquer un affaissement en surface indépendamment du phénomène de dissolution du sel, si celui-ci n'est pas réalisé dans les règles de l'art (notamment la cimentation).

B – Investigations géophysiques

Les investigations géophysiques sur la commune d'Hilsprich par la méthode de la tomographie de résistivité (panneau électrique) ont débuté en novembre 2010 (Mathieu, 2011 ; Mathieu and Cartannaz, 2013) . Au total ce sont 23 tomographies de résistivité qui ont été réalisées (P1 à P22 et RTE3). L'historique de ces investigations est le suivant (illustration 1) :

- 5 tomographies de résistivité notées P1 à P5, implantées perpendiculairement à l'axe d'affaissement mis en évidence par interférométrie radar ont été réalisées en novembre 2010 ;
- 6 tomographies de résistivité notées P6 à P11 destinées à circonscrire l'extension des phénomènes de dissolution du sel ont été réalisées en février 2011. Ces deux premières campagnes ont fait l'objet du rapport BRGM (Mathieu, 2011) . Les conclusions de ce rapport, outre la caractérisation du phénomène d'affaissement, préconisaient un complément d'investigation destiné à suivre les extensions de la nappe salée dans plusieurs directions ;
- 11 tomographies de résistivité, notées P12 à P22 ont été réalisées en mars 2012 lors d'une troisième campagne de reconnaissance avec pour objectif de cartographier les extensions liées aux phénomènes de dissolution. La synthèse de l'ensemble des résultats géophysiques de ces 3 campagnes est consignée dans le rapport BRGM de 2013 (Mathieu and Cartannaz, 2013) ;
- en février 2012, des investigations par la méthode de la tomographie de résistivité ont été réalisées pour le compte de RTE (Réseau de Transport Electrique) sur l'emprise d'un futur poste électrique de 400 kV située à environ 2 km au sud-est de la subsidence d'Hilsprich (Cartannaz and Mathieu, 2012) . Les résultats du profil RTE3 (le plus septentrional) ont été intégrés à la synthèse de l'étude géophysique sur Hilsprich.

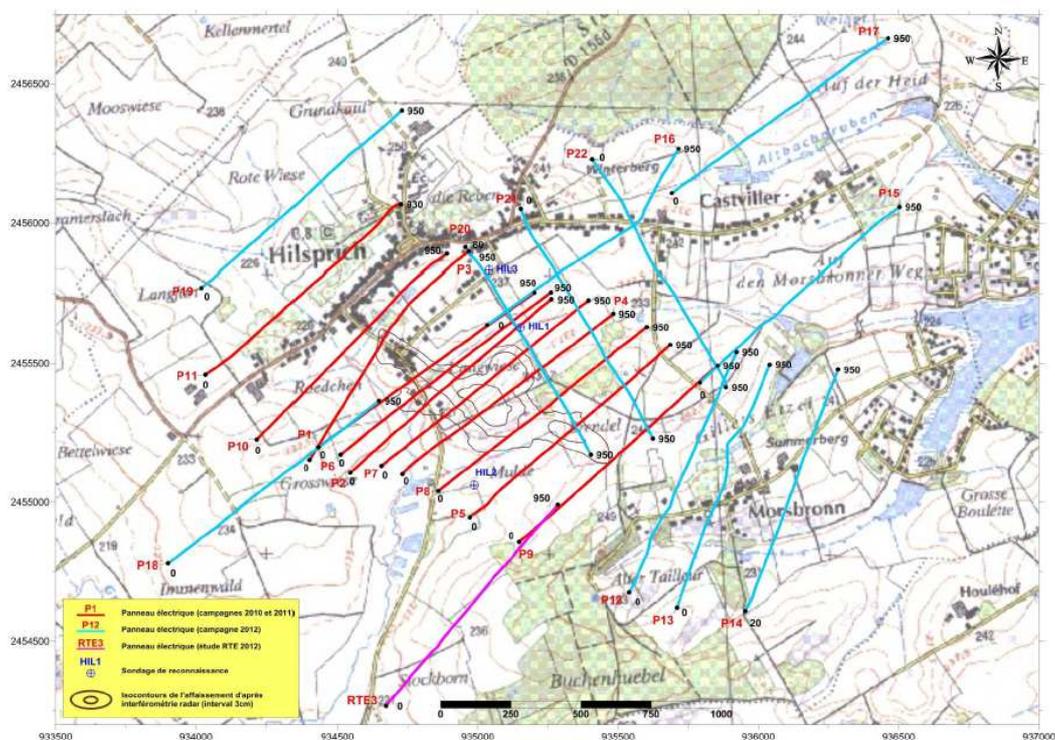


Illustration 1: Localisation des tomographies de résistivité (P1 à P22) sur fond IGN à 1/25 000.

Trois nouveaux profils de tomographie de résistivité (P23, P24 et P25) ont été réalisés en 2017 sur le secteur d'Hilsprich (illustration 2) dans le but de préciser l'extension des phénomènes de dissolution du sel et la cartographie de la profondeur du toit du sel.

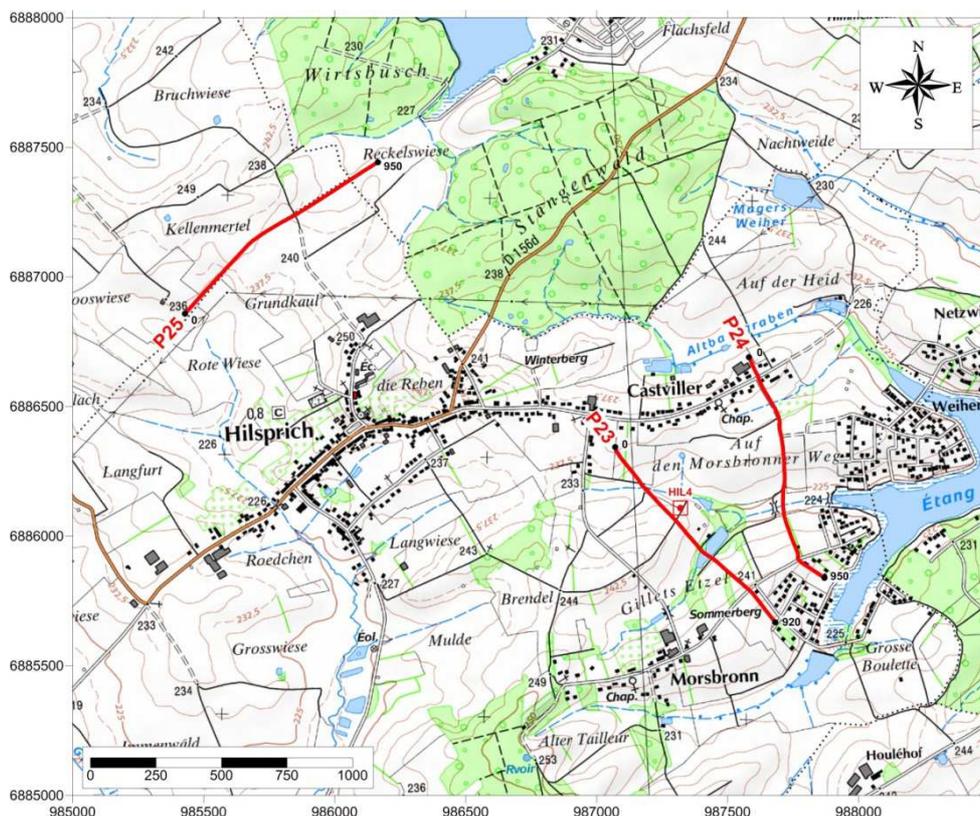


Illustration 2 Localisation des trois tomographies de résistivité (P23, P24 et P25) sur fond IGN à 1/25 000.

L'objectif des tomographies de résistivité P23 et P24 était de préciser, dans le secteur NE de la zone d'étude, la cartographie du toit du sel en prenant en compte les résultats du sondage HIL4.

Dans le détail, les résultats de l'interprétation de ces deux coupes géo-électriques sont les suivants :

- l'absence d'une nappe salée au toit du sel est confirmée dans ce secteur NE. La faible résistivité (25 ohm.m) de la formation salifère dans la partie centrale de la coupe P24 est probablement en relation avec de la fracturation (intersection de plusieurs failles dans ce secteur) ;
- la profondeur du toit du sel au niveau de la coupe P23 fluctue entre 72 m au NW et 95 m au SE ;
- au niveau de la tomographie P24, la profondeur du toit du sel est comprise entre un minimum de 70 m et un maximum de 85 m.

L'objectif de la tomographie P25 était de contrôler l'extension vers le NW des phénomènes de dissolution du sel et par voie de conséquence des possibles affaissements, au sein de la structure faillée F1-F5.

Les résultats de cette tomographie montrent :

- l'absence de nappe salée au toit du sel sur l'ensemble de la coupe géo-électrique. Les horizons géoélectriques directement sus-jacents à la formation salifère ont une résistivité supérieure à 50 ohm.m dans le compartiment situé au NE du couloir de failles F1-F5 et de l'ordre de 20 à 30 ohm.m au sein de la structure faillée. Par comparaison, au niveau de la tomographie P19 (Erreur : source de la référence non trouvée) située à environ 400 m au SE, l'horizon géoélectrique reposant directement sur la formation salifère possède une résistivité comprise entre 3 et 8 ohm.m caractérisant ainsi la présence d'eau saumâtre au sein de cet horizon ;
- la relative bonne précision de l'estimation de la profondeur du toit du sel d'après les calages sur les sondages HIL2 et HIL3. Cette profondeur fluctue entre 70 m au NE et 75 m au SW.

En conclusion le front d'extension de la nappe salée au sein du couloir de fracturation F1-F5 se situerait entre les profils P19 et P25.

SYNTHÈSE DE L'INTERPRÉTATION GÉOPHYSIQUE : CARTE DE LA PROFONDEUR DU TOIT DU SEL

En 2013, la détermination de l'altitude du toit de la formation salifère (Mathieu and Cartannaz, 2013) était basée sur les hypothèses suivantes :

- dans les compartiments affectés par la nappe salée ou par des phénomènes de dissolution du sel, la position du toit du sel était extrapolée à partir du toit de l'horizon conducteur C1 sus-jacent à la formation salifère et en partant de l'hypothèse que l'épaisseur de cet horizon était relativement constante. Cette hypothèse a été confortée par les résultats du sondage HIL2 ;
- dans les autres secteurs, l'altitude du toit du sel était déterminée en partant de l'hypothèse que l'horizon résistant profond correspondait à la formation salifère.

D'après cette carte du toit du sel, la profondeur prévisionnelle de cette interface au niveau du sondage HIL4 était de 86 m alors que le premier faisceau de sel a été rencontré dans le sondage à 72,2 m ce qui fait une différence de l'ordre de 12 m.

À la lumière de ces nouveaux résultats, la procédure d'interprétation des coupes de résistivité en termes de litho-stratigraphie a été actualisée et cette nouvelle procédure est la suivante :

- dans la zone de la subsidence où la densité des coupes géo-électriques est importante et où il existe deux sondages de calage, HIL1 et HIL2, relativement proches des profils géophysiques, l'estimation de la profondeur du toit du sel n'a pas été modifiée. L'illustration 3 montre qu'au niveau de la tomographie P5, la profondeur du toit du sel déterminée avec la procédure de 2013 est très peu différente de celle déterminée avec la procédure de 2017. Les profils P1 à P10 sont dans ce cas.

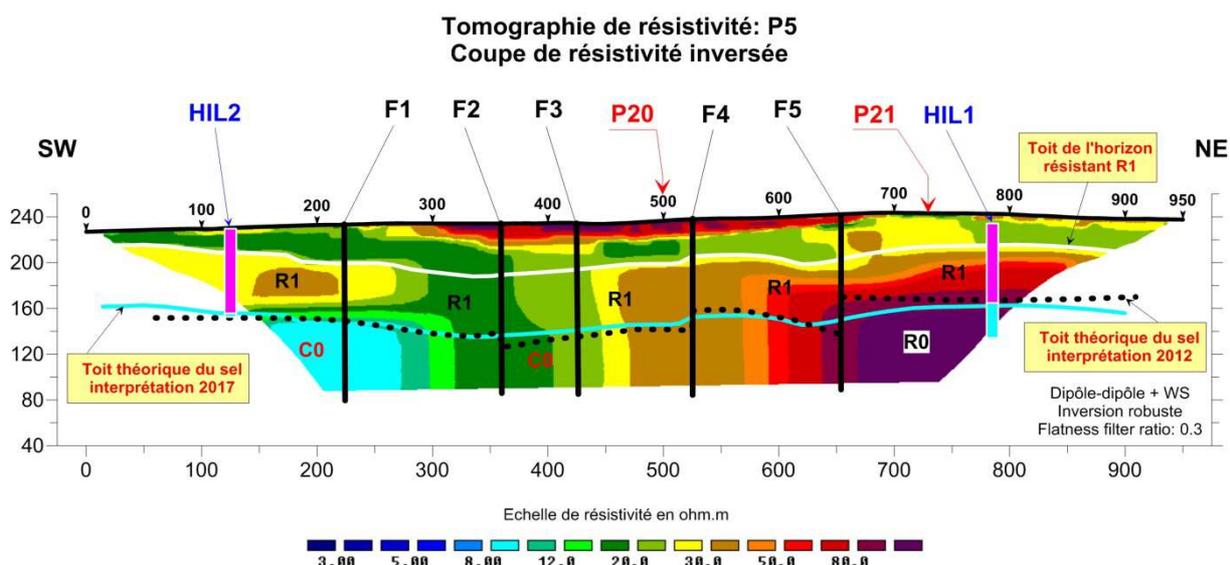


Illustration 3 Tomographie de résistivité P5 – comparaison entre les procédures 2012 et 2017 de détermination de la profondeur du toit du sel.

- dans les autres secteurs de la zone d'étude, la projection des sondages HIL1 à HIL4 sur les différentes coupes géo-électriques montrent que le toit de l'horizon résistant R1 constitue une base relativement précise pour l'estimation de la profondeur du toit du sel.

Par contre le toit de l'horizon R1 qui correspond au sommet du Keuper inférieur et qui est composé d'argilites avec un fort pourcentage d'anhydrite et de gypse d'où son caractère relativement résistant, est déterminé avec une relativement bonne précision. Ceci est dû à un contraste de résistivité suffisant entre l'horizon résistant R1 et les argilites sus-jacentes. De plus, cette interface se situe dans une tranche de terrain (10 à 25 m de profondeur) où la résolution de la méthode électrique est relativement bonne (environ 10 % de la profondeur). Comme le montre l' Illustration , sur les 17 coupes géoélectriques ayant bénéficiées d'un calage sur un ou plusieurs sondages, la différence de cote entre le toit de l'horizon résistant R1 (horizon composé d'un fort pourcentage de gypse/anhydrite) et le toit du sel s'établit à 53 m en moyenne avec une précision de + ou – 10 m.

Tomographie de résistivité	Sondages			
	HIL1	HIL2	HIL3	HIL4
P5	50	53		
P11		52	62	
P12	46	68		
P13		55		43
P14		50		42
P15				47
P16	56			56
P17				50
P18		47		
P19		52	63	
P20	54		57	
P21	61		61	
P22	46		53	46
RTE3		55		

Tomographie de résistivité	Sondages			
	HIL1	HIL2	HIL3	HIL4
P23				54
P24				49
P25		58	53	
Moyenne: 53 m +/- 10m				

Illustration 4 Détermination de la profondeur du toit du sel à partir des sondages et du toit de l'horizon résistant R1

La comparaison des procédures (2013-2017) de détermination de la profondeur du toit du sel, illustrée par l'exemple de la tomographie P15 montre des différences notables dans l'estimation de cette interface. Par exemple, dans la partie NE de la coupe P15, la profondeur du toit du sel est passée de 120 m en 2013 à 82 m en 2017.

Une cartographie de l'altitude du toit du sel a été estimée par interpolation du toit théorique du sel à partir des données de tomographies de résistivités (illustration 5).

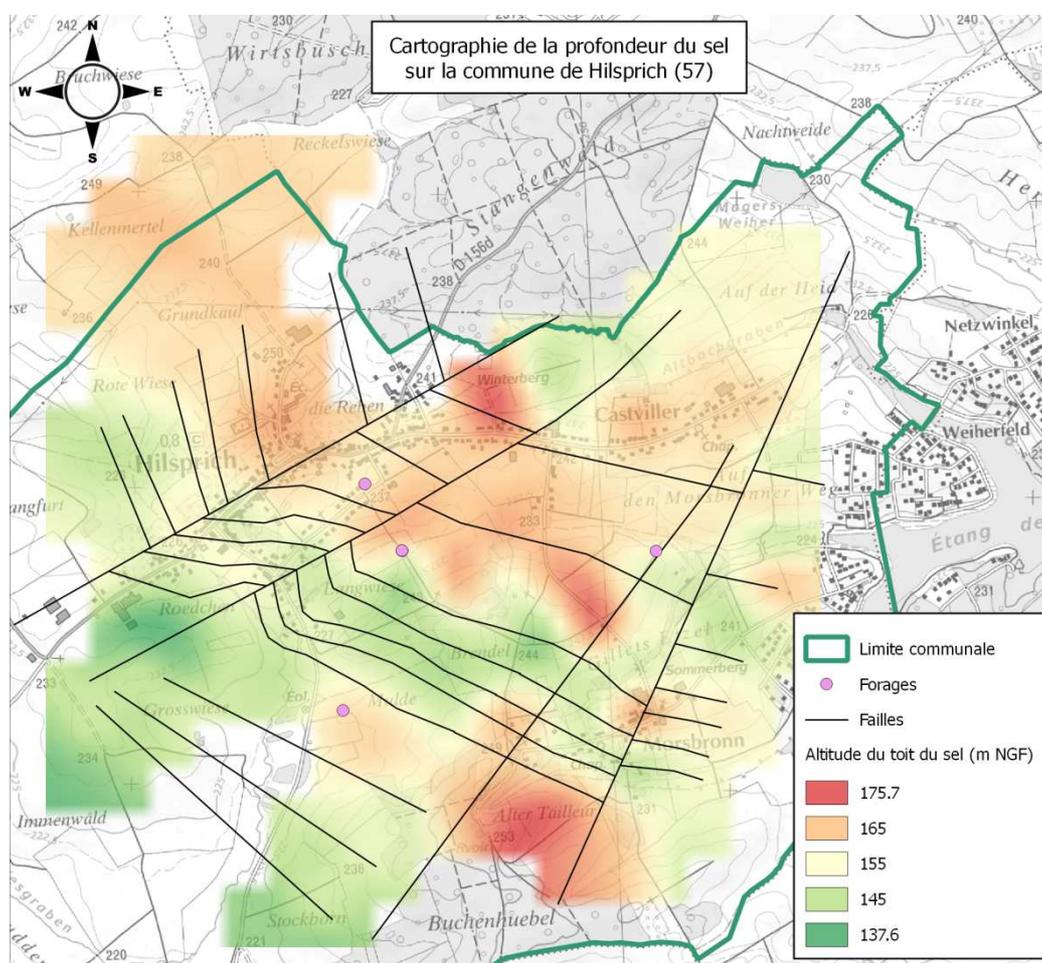


Illustration 5 Carte d'altitude du toit du sel construite à partir de l'interprétation des 26 tomographies de résistivité réalisée sur le secteur d'Hilsprich

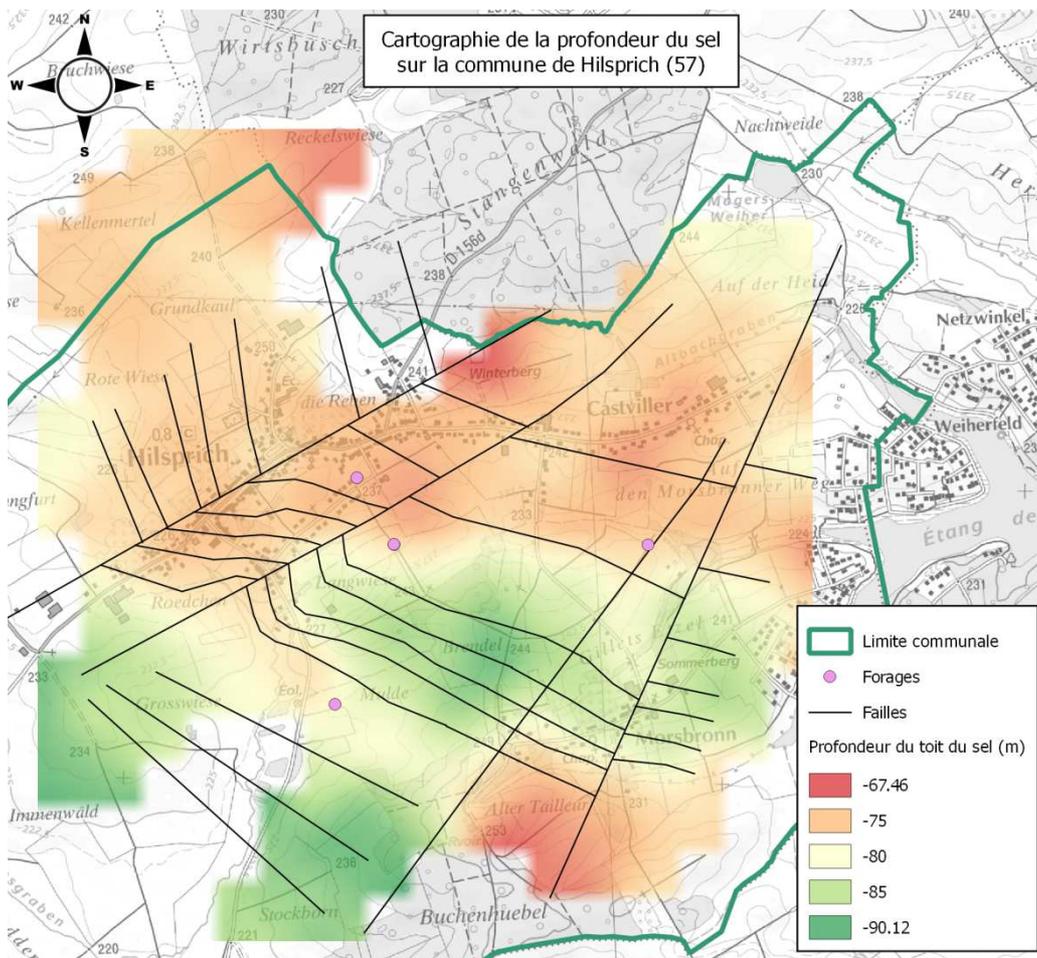


Illustration 6: Carte de la profondeur du toit du sel construite à partir de la différence entre le MNT et la carte d'altitude du toit du sel

C – Investigations topographiques

Réseau de surveillance

Un réseau de nivellement topographique (cheminement court) a été mis en place à partir de l'année 2008 sur environ une centaine de repères, situés sur les coins de mur des maisons, poteaux EDF ou les grille-avaloirs (cheminement court). Quatorze campagnes de nivellement ont été réalisées entre 2008 et 2017. Ce réseau a été étendu en 2011 à l'ensemble de la commune (cheminement long, 145 nouveaux points) afin de couvrir les cuvettes d'affaissement reconnues ou supposées par la méthode d'interférométrie radar satellitaire (Illustration 1). Sept campagnes de nivellement ont été réalisées entre 2011 et 2017 sur le cheminement long. Les mesures annuelles sont réalisées à l'automne.

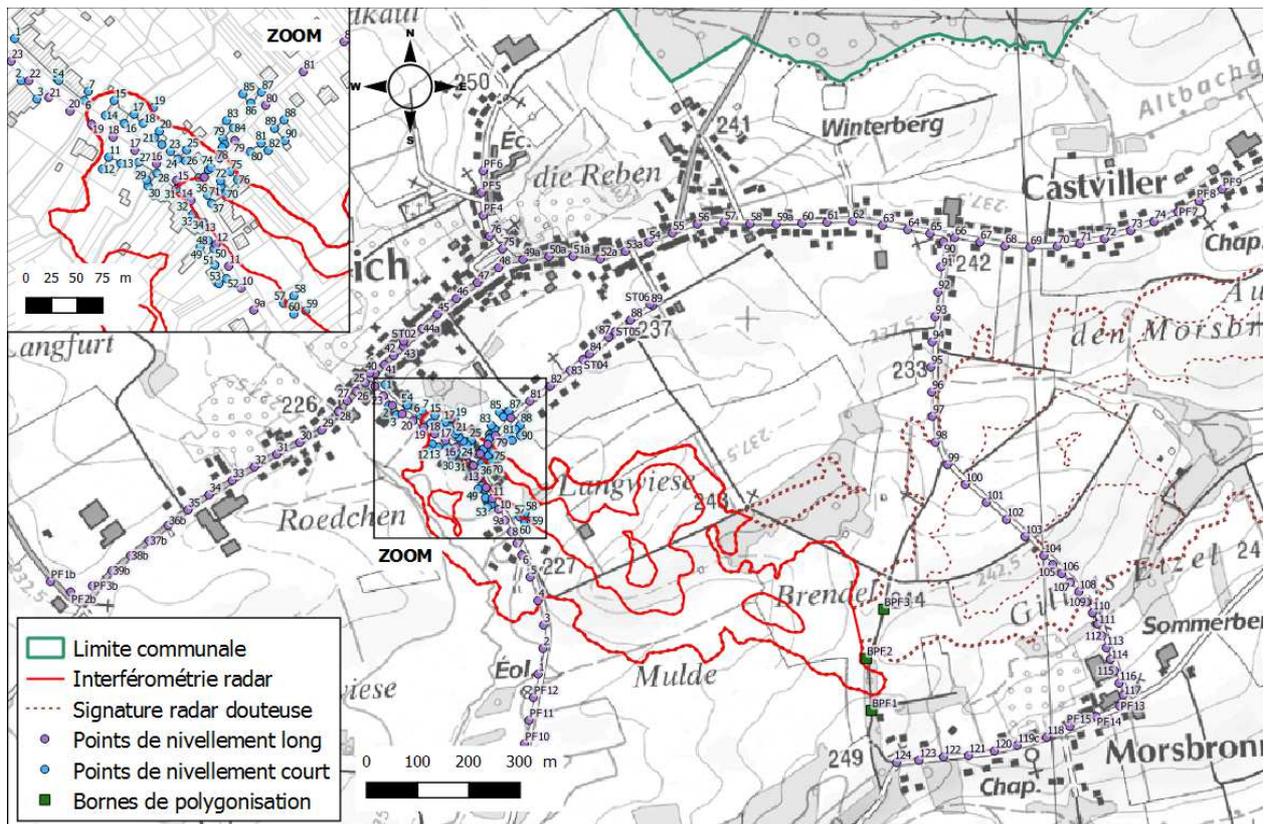


Illustration 1 Cheminement long des rues avec en bleu une station tous les 10 m et en violet une station tous les 25 m. Les carrés verts sont les bornes de polygonisation. En rouge, les cuvettes déterminées par interférométrie radar (distance entre les courbes 2 cm/an en ligne de visée).

L'analyse des points du réseau du cheminement long, localisés à même le sol, permettent de caractériser l'évolution spatiale et temporelle de la cuvette d'affaissement. En effet, sur les points du cheminement court, la transmission de la déformation du phénomène d'affaissement est influencée par les caractéristiques des infrastructures porteuses.

Les données dont l'amplitude de déplacement est inférieure à 10 mm, c'est-à-dire comprises entre -10 et 0 mm et entre 0 et 10 mm, sont considérées comme étant non significatives, car elles peuvent être la conséquence de la précision d'acquisition du nivellement et/ou la conséquence de mouvements de sol superficiels indépendants du phénomène d'affaissement. Ces points sont alors considérés comme stables.

Étude topographique par interférométrie radar

Une étude d'interférométrie radar conventionnelle et sur réflecteur persistant a été réalisée respectivement sur les périodes 2004 -2009 et 2007-2010 (Raucoules, 2010).

Les études d'interférométrie radar ont permis de confirmer une initiation de l'affaissement au printemps 2006 et d'évaluer une vitesse de déformation, présentant une tendance au ralentissement, de 90 mm/an au maximum de la cuvette sur la période 2008-2010. La cuvette déterminée en 2010 fait environ 1,1 km de longueur sur 0,3 km de largeur (illustration 2).

La zone nord-est évaluée comme instable par l'interférométrie radar présente un signal douteux notamment dû à une corrélation avec l'occupation du sol. En conséquent, le phénomène d'affaissement sur cette zone nécessite d'être confirmé par des campagnes de nivellement ultérieures (Raucoules, 2010).

Mesures du nivellement 2017 – Déplacement vertical

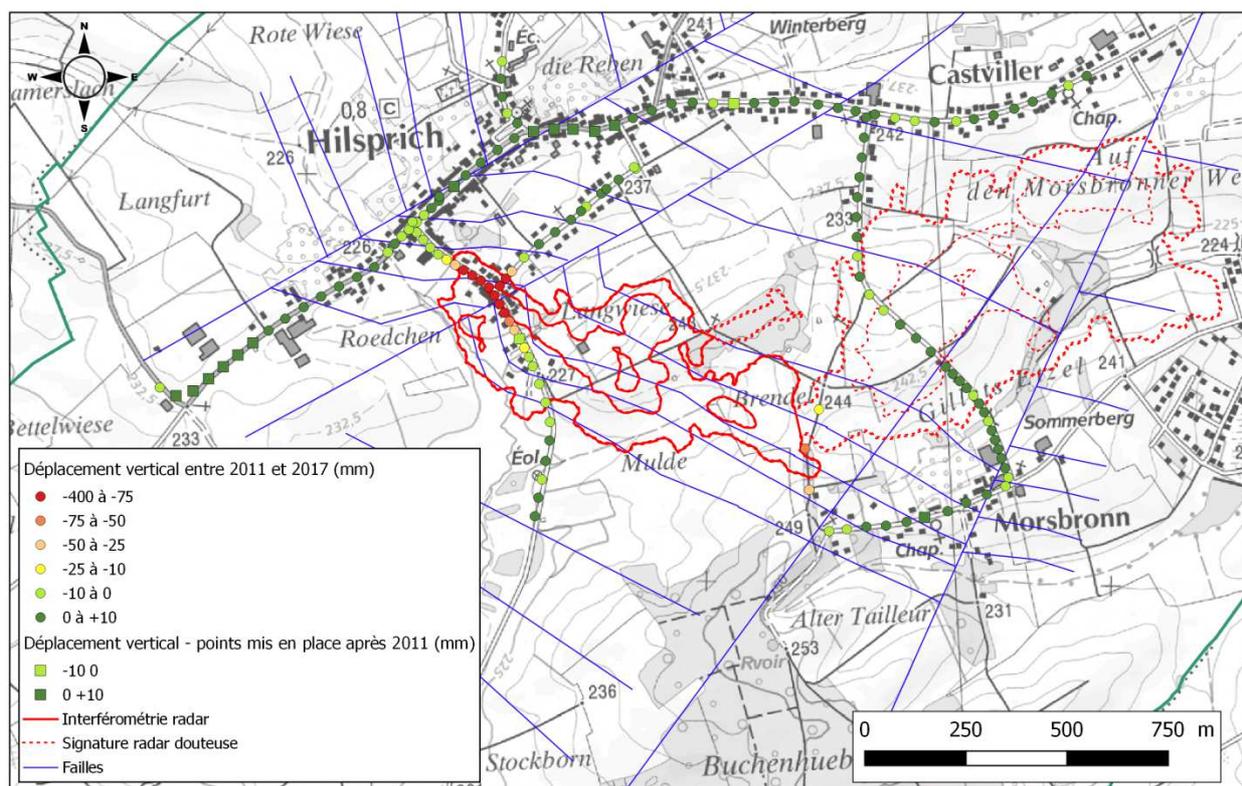


Illustration 2: Déplacements verticaux entre 2011 et 2017 et délimitation de la cuvette d'affaissement selon l'étude d'interférométrie radar en 2010

Général

L'analyse des déplacements calculés d'après les campagnes de nivellements de 2011 et 2017 montre :

- une intensité de déplacement la plus intense centrée sur le carrefour de la rue Kappelkinger et de la rue des Jardins et des déplacements significatifs dans le prolongement sud-est de la cuvette (direction Morsbronn) ;
- une évolution spatiale de la cuvette qui s'agrandit au nord-ouest et au sud-est parallèlement au couloir de failles par rapport à la délimitation réalisée par interférométrie radar en 2010 ;
- une évolution temporelle des déplacements variable selon les secteurs avec une légère tendance à la diminution au Nord-Est de la cuvette et une augmentation récente au sud-est ;
- le reste du secteur peut être considéré comme stable (points verts, déplacements inférieurs au seuil d'incertitude de 10 mm), notamment le secteur identifié comme instable par un signal incertain d'interférométrie radar. Ce signal peut désormais être considéré comme non représentatif du phénomène d'affaissement et n'est plus pris en compte pour la définition de l'aléa.

Secteur nord-ouest

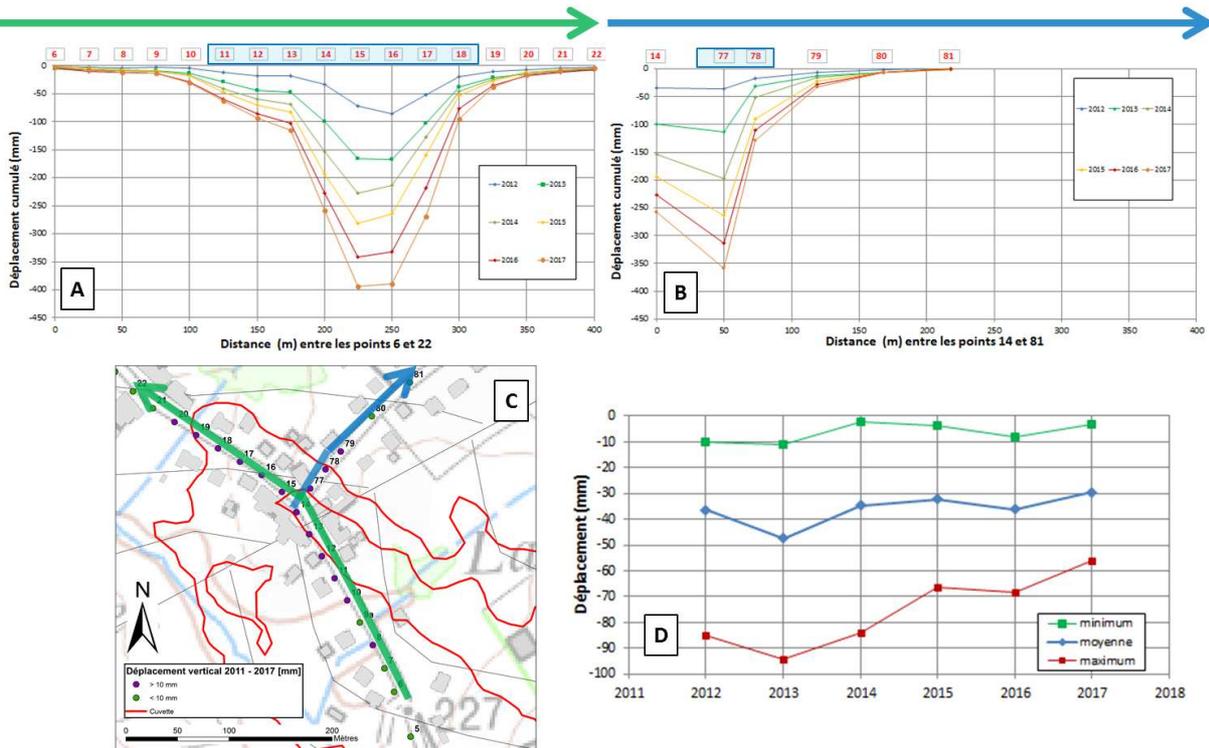


Illustration 3: Analyse des déplacements sur le secteur nord-ouest de la cuvette (intersection des rues de Kappelkinger et des Jardins). A : Déplacement cumulé rue de Kappelkinger. B : Déplacement cumulé rue des Jardins. C : Carte de localisation des cibles. D : Minimum, moyenne et maximum des déplacements annuels sur les points 11 à 18 (rue Kappelkinger) et 77 à 76 (rue des Jardins). L'ensemble des déplacements cumulés sont estimés à partir de la campagne initiale de 2011.

Les affaissements les plus importants affectent le secteur nord-ouest entre les points de nivellement 10 à 20 le long de la rue Kappelkinger (Illustration A) et 14 à 79 le long de la rue des Jardins (Illustration B). L'affaissement maximal entre 2011 et 2017 est mesuré pour les points 15 et 16 avec près de 400 mm d'affaissement cumulé (Illustration A). Une légère tendance au ralentissement de la déformation est observée et nécessite d'être confirmée par les prochaines campagnes de nivellement (Illustration D). Cette tendance est beaucoup plus marquée sur les valeurs maximales que sur les valeurs moyennes ou minimales. Une extension spatiale d'environ 25 m de la cuvette est également observée par rapport à la délimitation par interférométrie radar de 2010 (Raucoules, 2010). En effet, les points 20 au nord-ouest de la rue Kappeljinger et 79 au nord-est de la rue des Jardins sont dorénavant affectés par le phénomène d'affaissement (Illustration C).

Secteur sud-est

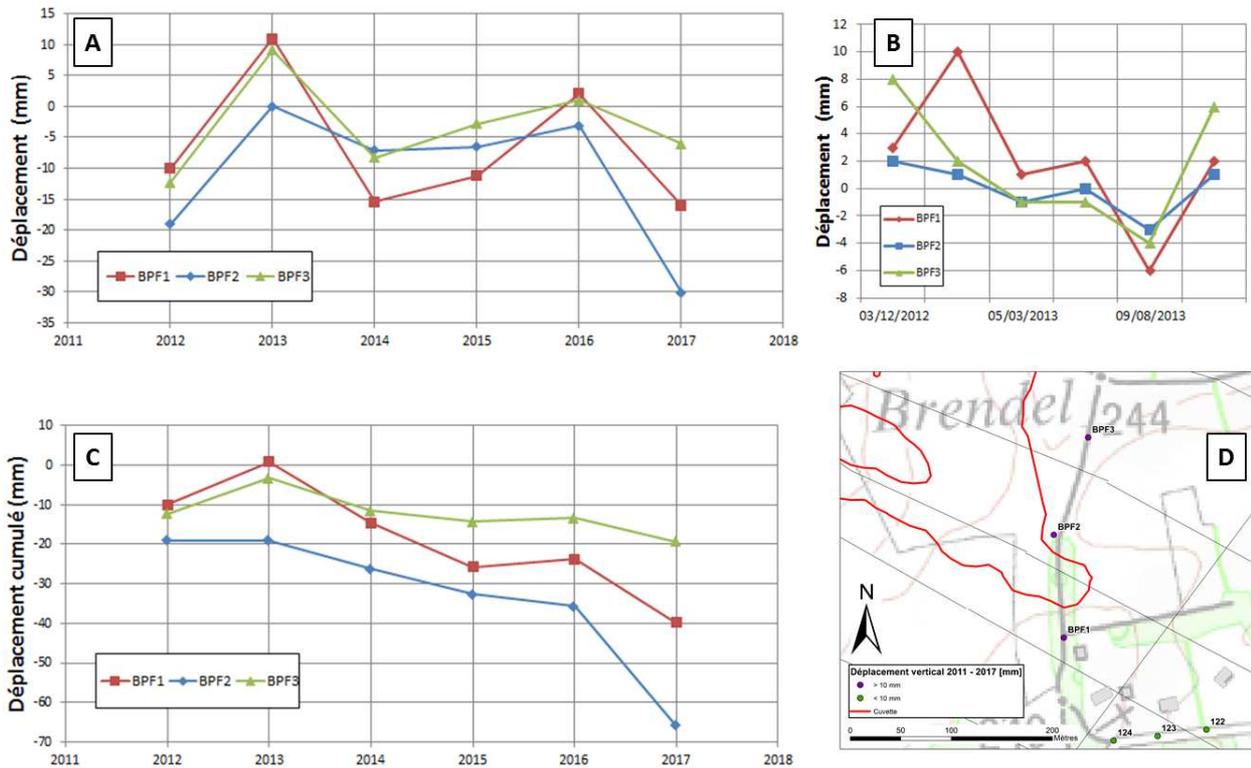


Illustration 4: Analyse des déplacements sur le secteur sud-est de la cuvette (direction Morsbronn).
 A : Déplacement annuel en mm. B Déplacement saisonnier en mm entre sept. 2012 et oct. 2013.
 C : Déplacement cumulé en mm. D Carte de localisation des cibles.
 L'ensemble des déplacements cumulés sont estimés à partir de la campagne initiale de 2011.

Les trois points de ce secteur, à la différence du réseau de surveillance constitué de clous de nivellement, consistent en des bornes de polygonation (Illustration D). Ces bornes, posées à même le sol, peuvent être influencées par le retrait gonflement des argiles (RGA). C'est pourquoi un suivi saisonnier a été effectué entre septembre 2012 et octobre 2013 afin d'évaluer les variations interannuelles pouvant être influencées/expliquées par du RGA et non par le phénomène d'affaissement (Illustration B). Des variations saisonnières d'environ +10 mm à -10 mm ont été enregistrées, dans la gamme d'incertitude des mesures de nivellement. Seulement les déplacements supérieurs à cette limite sont considérés comme représentatifs du phénomène d'affaissement. Depuis 2011, l'ensemble des campagnes de nivellement montraient des déplacements dans cette gamme d'incertitude et n'était donc pas considéré comme représentatifs (Illustration A). Cependant la déformation entre les années 2016 et 2017 montre des déplacements au-delà de ce seuil pour deux stations avec un déplacement maximal de -30mm. De plus, l'analyse du déplacement cumulé montre une tendance à l'affaissement depuis le début de la mise en place du cheminement long, excluant de fait un phénomène de RGA oscillatoire, avec un affaissement cumulé d'environ -60 mm pour la borne BPF2 (Illustration C). Une extension spatiale d'environ 50 m de la cuvette est observée par rapport à la délimitation par interférométrie radar de 2010. En effet, les points BPF1 et BPF3 sont dorénavant affectés par le phénomène d'affaissement.

Mise en pente

Les pentes sont calculées entre deux points de la même année sur les mesures du cheminement long. Les pentes les plus fortes sont constatées à l'est de la cuvette (entre les points 77 et 78 et entre les points 12 et 13).

Rue	Disposition par rapport à la cuvette	Point	pente 2011	pente 2012	pente 2013	pente 2014	pente 2015	pente 2016	pente 2017	Tendance observée
Rue des Jardins	Bord nord-est	77 à 78	3.72 %	3.78 %	4.07 %	4.28 %	4.40 %	4.52 %	4.62 %	Augmentation entre 2011 et 2017
		78 à 79	1.50 %	1.54 %	1.57 %	1.63 %	1.76 %	1.82 %	1.87 %	
Rue Kappelkinger	Bord sud-est	9 à 10	0.37 %	0.36 %	0.35 %	0.34 %	0.33 %	0.31 %	0.30 %	Diminution entre 2011 et 2017
		10 à 11	1.52 %	1.49 %	1.46 %	1.43 %	1.41 %	1.40 %	1.39 %	
		11 à 12	3.08 %	3.06 %	3.02 %	3.00 %	2.99 %	2.97 %	2.96 %	
		12 à 13	4.69 %	4.69 %	4.68 %	4.66 %	4.64 %	4.63 %	4.60 %	
		13 à 14	4.30 %	4.24 %	4.08 %	3.97 %	3.86 %	3.81 %	3.74 %	
		14 à 15	0.46 %	0.59 %	0.72 %	0.74 %	0.80 %	0.91 %	0.99 %	
	Centre	15 à 16	3.30 %	3.35 %	3.30 %	3.24 %	3.23 %	3.26 %	3.28 %	Variation
	Bord nord-ouest	16 à 17	2.49 %	2.37 %	2.23 %	2.16 %	2.08 %	2.04 %	2.02 %	Diminution entre 2011 et 2017
17 à 18		0.94 %	0.83 %	0.69 %	0.63 %	0.52 %	0.38 %	0.26 %		

Illustration 5 Mesures des pentes sur le cheminement long (en rouge: pente supérieure à 4%, en orange: pente entre 3 et 4%, en jaune: pente entre 2 et 3%, en vert: pente entre 1 et 2%)

La pente maximum mesurée en 2017 est de 4,62 % entre les points 77 et 78 de la rue des Jardins. Au niveau de la rue Kappelkinger, la pente maximum en 2017 est de 4,6 % entre les points 12 et 13. Les mesures semblent montrer, entre 2011 et 2017, une augmentation de la pente sur le bord nord-est, une diminution sur le bord nord-ouest et très peu de variations au centre et sur le bord sud-est (excepté entre les points 14 et 15) (illustration 6).

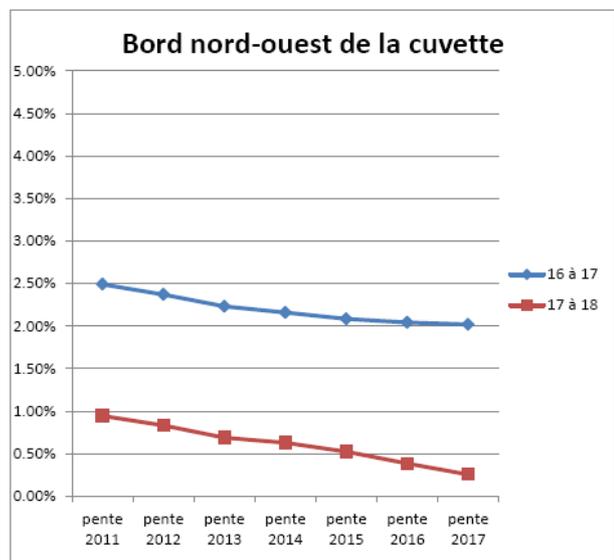
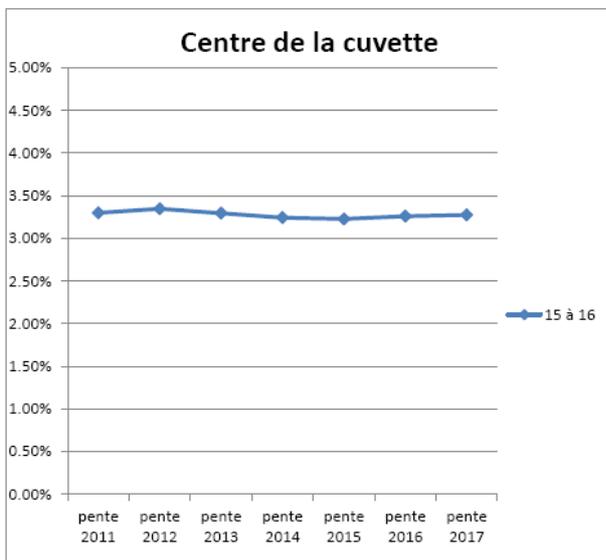
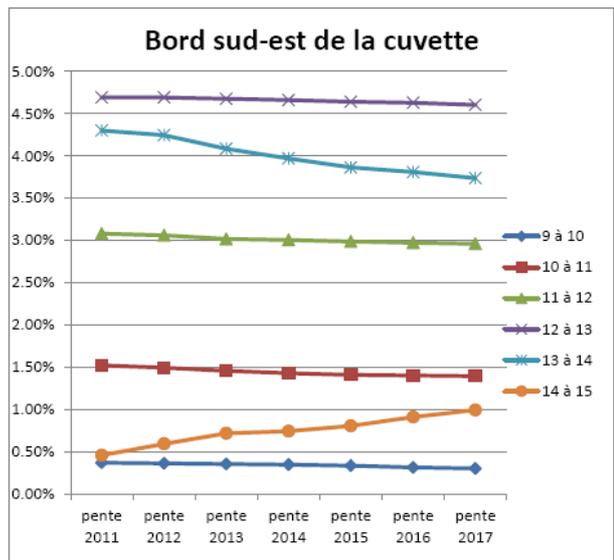
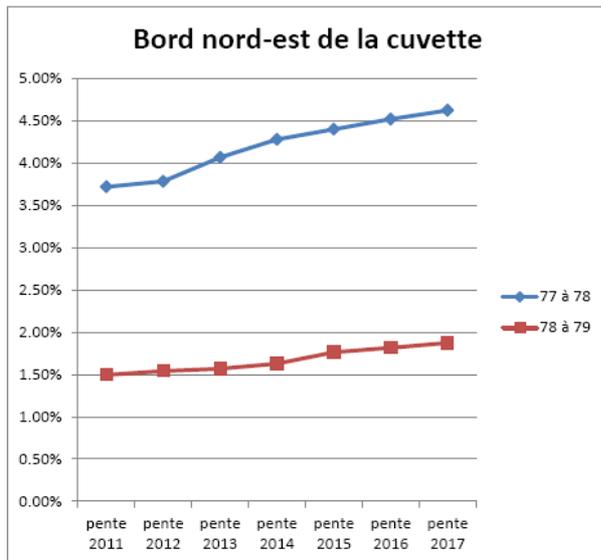


Illustration 6 Evolution des pentes sur la commune d'Hilsprich

E - CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA

1 - ESTIMATION DE L'INTENSITÉ DE L'AFFAISSEMENT

Le guide méthodologique « Plan de prévention des risques naturels : cavités souterraines abandonnées » édité en 2012 par le ministère de l'environnement (Didier and Watelet, 2012) définit les intensités des aléas dans le cas des affaissements en fonction du pourcentage de mise en pente. Selon cette classification, l'estimation de mise en pente sur les points de nivellement du cheminement long localisés dans la cuvette de déformation attribue une intensité modérée.

Classe d'intensité	Mise en pente (%)
Très limitée	pente < 1
Limitée	1 < pente < 3
Modérée	3 < pente < 6
Élevée	pente > 6

Illustration 1: Classification de l'intensité en fonction de la mise en pente (en °)

Cette estimation de l'intensité est valide lorsque les dimensions des vides en profondeur (exploitation souterraine par exemple) sont connues et que l'amplitude des mises en pente en surface dues à l'affaissement peut être modélisée. Néanmoins, l'état de connaissance actuel parcellaire du phénomène d'affaissement, plus particulièrement du fonctionnement hydrogéologique, ne permet pas d'engager une quantification de l'évolution du phénomène de dissolution et donc du volume de vide futur en profondeur.

C'est pourquoi, l'intensité, qualifiée de modérée en fonction des données de mise en pente actuelles, est réévaluée à une intensité élevée afin de prendre en compte l'incertitude sur une évolution potentielle future des mises en pente au-delà du seuil de 6 %. Par exemple, la mise en pente entre les points 77 à 78 a augmenté de 0.9 % entre 2011 et 2017, avec une valeur actuelle à 4.62 %. Si cette augmentation progresse au même rythme dans les années futures, le seuil de 6 % pourrait être dépassé dans les années 2025-2030.

En conclusion, dans le cadre de l'étude d'Hilsprich, c'est une cartographie de la susceptibilité d'apparition d'un affaissement qui va conditionner les classes de l'aléa car l'intensité du phénomène sera toujours considérée élevée.

2 - ESTIMATION DE LA PROBABILITÉ D'APPARITION DE NOUVEAUX AFFAISSEMENTS

Concernant, la probabilité de l'évolution de l'affaissement, cet aspect dépend essentiellement des facteurs de prédisposition suivants : l'épaisseur de la couverture, le volume de vide disponible, l'évolution du front de dissolution et le réseau de failles / fractures.

2.1 – Épaisseur de la couverture

L'apparition de désordres en surface dépend de l'épaisseur de la couverture géologique au-dessus de la couche d'évaporite. La présence entre la surface et la cavité de formations capables de conserver une relative continuité géométrique malgré la mise en flexion peut suffire à interrompre la propagation. En effet, les terrains de la couverture vont en partie atténuer la déformation engendrée par un affaissement en profondeur. Par conséquent, plus l'épaisseur de la couverture est importante, moins les déformations en surface sont élevées.

De plus, dans le cas de la dissolution d'évaporite en profondeur, la couverture, si celle-ci est peu perméable, joue un rôle protecteur de l'infiltration en profondeur d'eaux peu minéralisées (eau météoritique ou d'une nappe superficielle). Sur le secteur d'Hilsprich la couverture d'argilite présente une très faible perméabilité et peut jouer ce rôle protecteur en dehors des secteurs fracturés/faillés. Par conséquent, plus l'épaisseur de la couverture est importante, moins les infiltrations d'eau peu minéralisée sont facilitées et moins la dissolution du sel en profondeur est favorisée.

Trois classes ont été établies sur le secteur d'Hilsprich afin d'appréhender la profondeur du toit sel qui varie de 67 m à 90 m de profondeur d'après les résultats des sondages et investigations géophysiques :

- épaisseur supérieure à 100 m : prédisposition faible ;
- épaisseur entre 80 et 100 m : prédisposition modérée ;
- épaisseur entre 60 et 80 m : prédisposition forte.

Pour des profondeurs inférieures à 60 m, aucune couche de sel n'a été observée sur les carottes des 4 sondages réalisés sur la commune. En effet, en Lorraine, où le pendage des couches devrait mettre des formations salifères à l'affleurement, il est totalement absent des cinquante premiers mètres de terrain conséquence de la dissolution naturelle passée (Feuga, 2009).

2.2 – Volume de vide.

L'apparition de désordre en surface dépend également du volume des vides créés en profondeur. En effet, plus le volume de vide disponible est important, plus le déplacement vertical de la déformation est important. Le volume potentiel de vide pouvant être créé par dissolution est lié à l'épaisseur des formations évaporitiques.

Sur Hilsprich, les forages réalisés n'ont jamais totalement traversé la couche de sel dont une épaisseur minimum d'environ 25 m a été caractérisée dans les forages HIL1 et HIL4. Dans le cadre d'une dissolution complète de la couche de sel, soit 25 m de « vide franc », les affaissements en surface seraient conséquents. Cependant, sur la commune d'Hilsprich :

- la puissance de 25 m ne correspond pas à 25 m de sel massif. De nombreuses intercalations de formations argileuses sont présentes ;
- la nappe salée semble être confinée au toit du sel d'après les investigations de géophysique et géologiques. Le sel étant imperméable, les circulations d'eau et la dissolution sont généralement confinées au toit du sel sans y creuser de cavités de grande taille (Feuga, 2009).

En conséquent, dans cette configuration la dissolution impacte alors non pas l'ensemble de la couche de sel mais seulement une partie du sommet. Une relation théorique directe entre épaisseur de la couche et affaissement en surface n'est donc pas appropriée. L'épaisseur de la couche de sel ne constitue donc pas, sur la commune d'Hilsprich, un facteur de prédisposition suffisamment discriminant et pertinent pour être pris en compte.

2.3 – Evolution du front de dissolution

Alors que l'évolution spatiale et temporelle de l'affaissement est comparativement simple à surveiller, la compréhension des processus et mécanismes contrôlant la dissolution des formations en profondeur est complexe en raison des nombreuses difficultés à caractériser le fonctionnement hydrochimique et hydrodynamique des eaux souterraines (Zechner et al., 2011).

Des venues d'eau superficielle qui atteignent le sommet d'une couche de sel peu profonde se contentent d'y circuler puisque le sel est imperméable. L'eau y dissout du sel (à condition que l'eau soit sous-saturée en sel) et sa concentration s'accroît jusqu'à ce qu'elle atteigne la saturation et qu'elle perde toute capacité de dissolution. Le sel est alors protégé de la dissolution par une couche de saumure saturée sur laquelle surnage l'eau douce puisque la saumure est beaucoup plus dense que l'eau douce (densité de 1,2 au lieu de 1) et qu'eau douce et saumure ne se mélangent pas. Pour qu'une dissolution se produise, il faut que la saumure, ainsi formée, soit retirée du dépôt de sel; sinon la saumure devient saturée et le processus de dissolution s'arrête (Feuga, 2009).

En général, 4 conditions doivent être réunies pour engendrer une dissolution rapide du sel (Johnson, 1981) :

- un dépôt de sel contre lequel, à travers lequel, l'eau peut circuler ;
- un apport d'eau sous-saturé en sel ;
- un exutoire permettant à la saumure de s'échapper et d'être renouvelée par de l'eau sous-saturé ;
- une énergie fournie par le gradient hydraulique et/ou de densité qui induit un écoulement de l'eau souterraine.

La caractérisation de ces 4 conditions permet d'évaluer, voire de quantifier, l'évolution du front de dissolution et donc in fine d'estimer l'évolution temporelle et spatiale de l'affaissement en surface.

Sur la commune d'Hilsprich seule la présence d'un dépôt de sel est avérée et relativement bien quantifié (géophysique et forages). Bien que l'infiltration d'eau douce en profondeur soit fortement suspectée comme le moteur de la dissolution, aucune analyse n'a encore permis de déterminer son rôle. Enfin à l'heure actuelle aucun exutoire à la nappe salée n'a été identifié et le gradient hydraulique/densité n'est pas connu.

Par conséquent, actuellement le fonctionnement hydrogéologique est peu contraint et présente de nombreuses incertitudes (gradient hydraulique/densité, échange avec la nappe superficielle, quantification de l'infiltration, connexion entre les structures faillées, perméabilité des failles, exutoire, etc...). Les données actuelles ne permettent pas de quantifier l'évolution future de l'affaissement sur la commune d'Hilsprich. Cependant un certain nombre d'éléments permet d'appréhender qualitativement cette évolution.

Tout d'abord, les campagnes de géophysique (Mathieu, 2011; Mathieu and Cartannaz, 2013) ont permis de cartographier des zones avec présence de nappe salée, avec présence d'une nappe intermédiaire (douce/saumure) et sans présence de nappe (sel sain) qui présentent des susceptibilités différentes à la dissolution :

- les zones situées à l'aplomb d'une nappe salée contaminée par de l'eau douce correspondent aux secteurs en surfaces impactés par l'affaissement. Ces zones sont le siège d'une dissolution active et actuelle des couches de sel (stade 3, illustration 2) ;
- les zones de sel sain : plus elles sont situées à proximité d'un front de dissolution actif, plus elles sont susceptibles de subir à terme une dissolution (stade 1, illustration 2) ;
- les zones situées à l'aplomb d'une nappe salée non contaminée par de l'eau douce sont *a priori* stables, car le sel y est protégé de la dissolution. Cependant, des dissolutions peuvent être activées par un apport d'eau douce (stade 2, illustration 2).

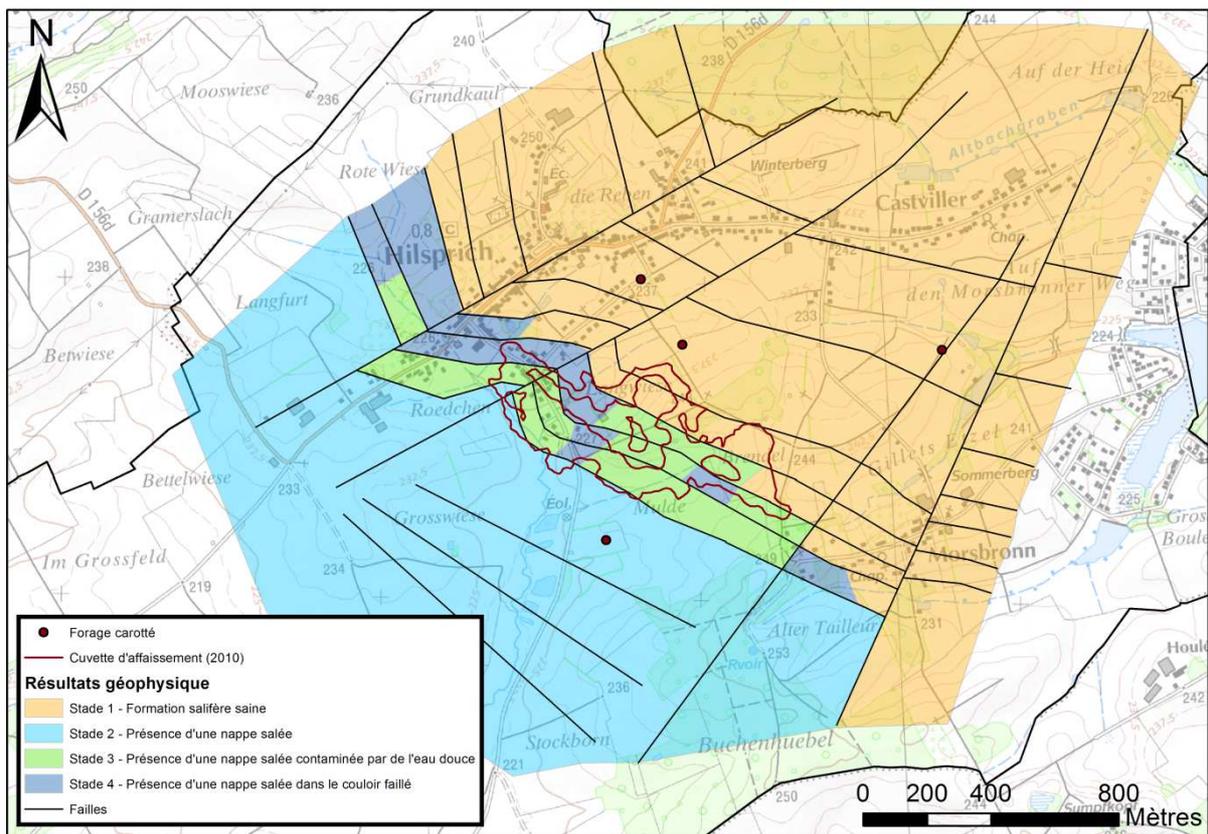


Illustration 2 Carte de la nappe salée d'après les investigations de géophysiques

En l'absence d'éléments tangibles pour quantifier l'évolution du front de dissolution et donc de l'affaissement, la cartographie de l'aléa sur Hilsprich prendra donc en compte par défaut la susceptibilité à la dissolution des secteurs identifiés par géophysiques. Des zones tampons ont été définies afin de qualifier cette susceptibilité :

- susceptibilité « forte » : zone correspondante au stade 3 et au stade 4 dans le couloir de failles à laquelle a été ajouté une zone tampon d'incertitude/influence de 50 m (stade 2, direction SW) à 100 m (stade 1, direction NE) ;
- susceptibilité « moyenne » : Zone à moins de 100 m (stade 2, direction SW) / 200 m (stade 1, direction NE) de la zone de susceptibilité « forte » ;
- susceptibilité « faible » : Zone à moins de 200 m (stade 2, direction SW) / 400 m (stade 1, direction NE) de la zone de susceptibilité forte ;
- susceptibilité « très Faible » : Zone à plus de 200 m (stade 2, direction SW) / 400 m (stade 1, direction NE) de la zone de susceptibilité forte.

2.4 – Influence des failles / fractures

La forme de la cuvette et son évolution semble être guidée par les discontinuités géologiques de type fractures/failles identifiées par les campagnes de géophysique. En effet la cuvette d'affaissement est centrée et semble évoluer spatialement le long d'un couloir de failles d'orientation sud-est.

Dans les milieux fracturés, les failles/fractures peuvent jouer un rôle de circulation préférentielle des eaux souterraines et donc favoriser la dissolution. A contrario, selon le contexte, les discontinuités peuvent également jouer un rôle de barrières hydrauliques.

Sur le secteur d'Hilsprich, les circulations préférentielles semblent être privilégiées le long des plans de discontinués. Par contre, il est probable que ces plans de discontinuité puissent jouer également un rôle de barrière hydraulique aux écoulements orthogonaux. La cartographie de l'aléa sur Hilsprich sera par conséquent localement influencée par la répartition spatiale des discontinuités identifiées par les campagnes de géophysique.

3 - CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA

3.1 – Évaluation de l'aléa

L'aléa est la probabilité qu'un mouvement de terrain, d'une intensité donnée, se produise au cours d'une période donnée. Par conséquent, l'évaluation de l'aléa résulte du croisement entre une intensité et une probabilité d'occurrence d'un phénomène.

Dans le cadre de l'affaissement d'Hilsprich, l'intensité est qualifiée de niveau élevée sur l'ensemble de la commune.

En conclusion, dans le cadre de l'étude d'Hilsprich, c'est une cartographie de la susceptibilité d'apparition d'un affaissement qui va conditionner les classes de l'aléa car l'intensité du phénomène sera toujours élevée.

Les deux facteurs de prédisposition principaux sont la profondeur du sel et la susceptibilité à la dissolution, ce qui conduit à la matrice suivante (Illustration 3) :

		PROFONDEUR DU TOIT DU SEL			
		Sup, à 100 m	80 m à 100 m	80 m à 60 m	Inf. à 60 m
SUSCEPTIBILITÉ À LA DISSOLUTION	Très faible Zone à plus de 200 m (stade 2) / 400 m (stade 1) de la zone de susceptibilité forte	faible	faible	faible	Pas de sel (HILSPRICH)
	Faible Zone à moins de 200 m (stade 2) / 400 m (stade 1) de la zone de susceptibilité forte	faible	moyen	moyen	
	Moyenne Zone à moins de 100 m (stade 2) / 200 m (stade 1) de la zone de susceptibilité forte	moyen	moyen	fort	
	Forte Stade 4 (couloir de failles) ou stade 3 + marge d'incertitudes/influence de 50 m (stade 2) à 100 m (stade 1)	moyen	fort	fort	

Illustration 3 Matrice d'évaluation de l'aléa affaissement sur la commune de Hilsprich

La cartographie de l'aléa ne se réduit donc pas aux croisements des facteurs de prédispositions identifiés dans la matrice et une approche de type expert est également mise en œuvre en parallèle pour prendre en compte le contexte géologique structural (notamment la présence de failles).

3.2 – Facteurs aggravants

L'évaluation de l'aléa est également conditionnée par l'évolution de l'affaissement en surface (interférométrie radar et campagnes de nivellement), témoin par défaut de l'évolution de la dissolution en profondeur.

Evolution actuelle

Un niveau d'aléa très fort est appliquée sur le secteur déterminé par la cuvette d'affaissement en surface déterminée par interférométrie radar en 2010 à laquelle une zone tampon de 50 m a été appliquée pour tenir compte de l'évolution de la déformation observée depuis cette date d'après l'analyse des campagnes de nivellement.

Evolution future

De nombreuses incertitudes demeurent sur l'évolution future du phénomène d'affaissement, notamment concernant l'évolution du front de dissolution en profondeur. Ces incertitudes ont été prises en compte à proximité de la cuvette d'affaissement dans la cartographie de l'aléa en définissant des zones tampons (par rapport à la cuvette d'affaissement définie par interférométrie radar en 2010) ayant un niveau d'aléa minimum :

- zone tampon de 150 m : niveau d'aléa minimum fort ;
- zone tampon de 250 m : niveau d'aléa minimum moyen.

3.3 – Limite de la carte et échelle de restitution

Le territoire de la commune de Hilsprich a été investigué sur 4,8 km² soit 46 % de la surface communale.

Sur le secteur investigué, l'aléa a été cartographié d'après la méthodologie décrite dans la section, sur la base de facteurs de prédisposition d'épaisseur de la couverture, de la susceptibilité à la dissolution et de la présence de discontinuités (failles/fractures). L'état de connaissance parcellaire, particulièrement du fonctionnement hydrogéologique, n'a pas permis d'engager une quantification de l'évolution du phénomène de dissolution et donc de l'affaissement en surface. La cartographie de l'aléa sur la commune d'Hilsprich est par conséquent cantonnée à une démarche qualitative de type expert.

Cependant, sur le secteur non investigué, en raison de la présence probable de sel dans le sous-sol de l'intégralité de la commune, il n'est pas concevable que ce secteur ne présente pas d'aléa ou qu'un aléa nul soit défini par défaut.

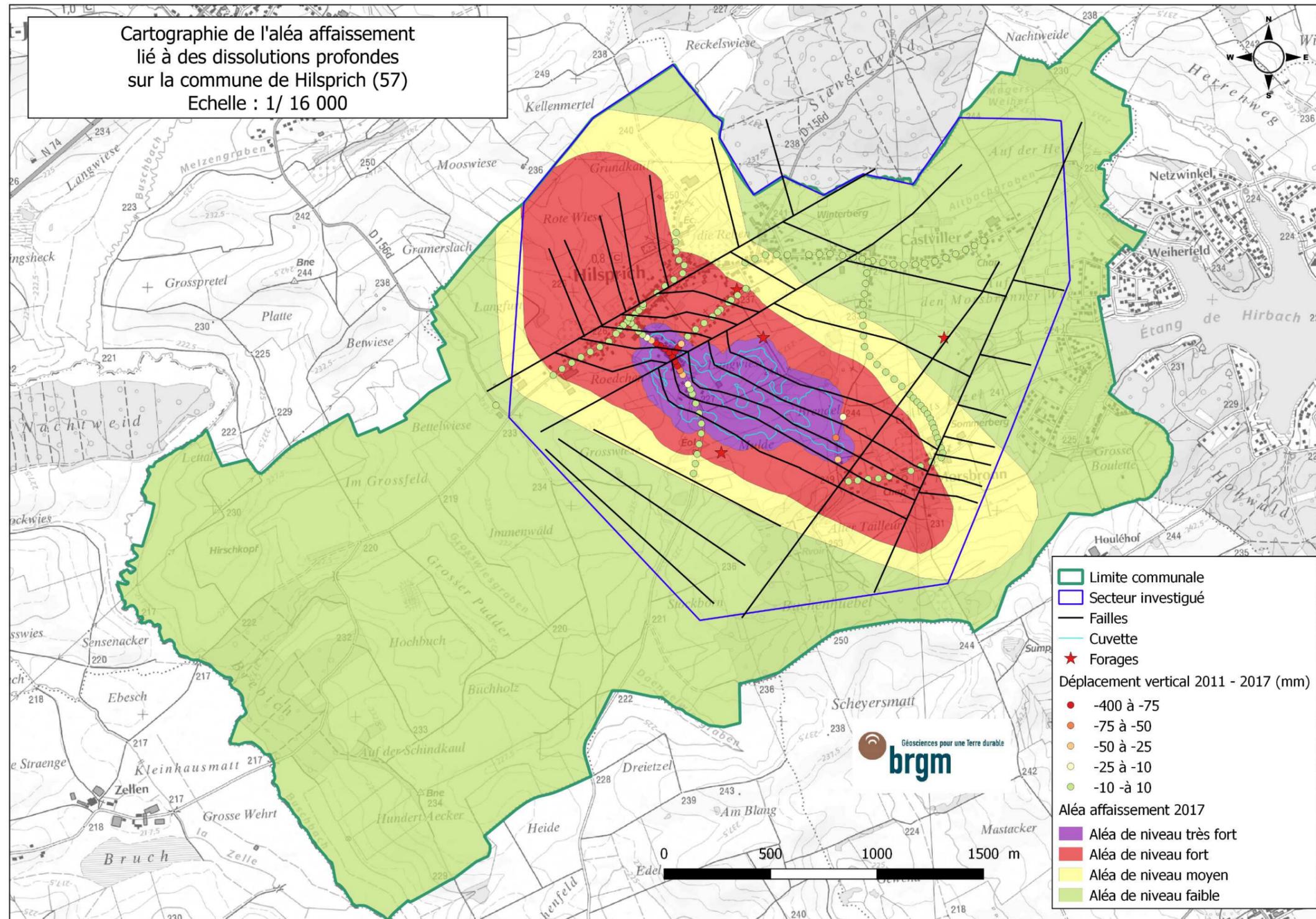
Par conséquent, sur le secteur non investigué :

- les zones d'aléa moyen à fort caractérisées sur le secteur investigué ont été prolongés et fermés à dire d'expert ;
- l'aléa a été qualifié par défaut et à minima de niveau faible sur l'ensemble des secteurs restants de la commune.

La cartographie de l'aléa est basée sur l'analyse des sources documentaires disponibles (méthodologies, connaissances des mécanismes...) à la date de sa réalisation et sur l'exploitation des événements historiques connus. L'étude est donc le reflet de la connaissance au moment de sa réalisation. La prise en compte ultérieure de données non connues ou non disponibles pendant cette période (outils et méthodologies, investigations, évolution du phénomène d'affaissement (désordres/déformations), données hydrogéologiques, témoignages, etc...) peut conduire à une révision des critères d'analyse de l'aléa et donc de son expression cartographique. Ceci est d'autant plus vrai pour la cartographie de l'aléa en dehors de la zone investiguée où la profondeur du sel, la présence d'une nappe salée et de failles n'ont pas été caractérisées.

Les cartes d'aléa sont restituées sur les fonds cadastraux à l'échelle du 1/5 000^{ème}. Toute opération de zoom sur une carte au 1/5 000^{ème} pour en agrandir l'échelle est en dehors du domaine de validité de la cartographie est donc à proscrire.

3.4 – Cartographie mise à jour de l'aléa



F – ÉTUDE DE DÉFINITION DES DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES POUR LES PROJETS NEUFS ET LES CONSTRUCTIONS EXISTANTES

Sur la commune de Hilsprich, le CSTB a été missionné pour définir les dispositions constructives permettant d'édifier des constructions neuves, et pour définir les dispositions constructives pour les constructions existantes. L'étude s'est articulée autour des deux éléments essentiels suivants :

- analyse des impacts prévisibles sur le bâti en fonction des aléas d'affaissement retenus et choix d'une typologie de bâtiments. L'étude a défini ensuite des mesures constructives simples à mettre en œuvre pour se prémunir d'endommagements prévisibles si les dispositions standards ne suffisent pas ;
- exploration d'autres systèmes constructifs, dits *alternatifs*. Il s'agit d'examiner deux procédés constructifs particulièrement adaptés pour résister à des affaissements de terrain (procédé à comportement ductile notamment) : les constructions à ossature bois visées au NF DTU 31.2, et les constructions à ossature métallique.

L'étude repose sur l'analyse des bâtiments types. Pour les projets de constructions neuves hors typologies sur la commune, un modèle de cahier des charges permettra aux pétitionnaires de solliciter des bureaux d'études experts en conception de structures des bâtiments.

L'étude des dispositions constructives pour les constructions neuves a fait l'objet du rapport référencé 20654802 du 07/11/2017, consultable en mairie et à la DDT de la Moselle.

L'étude des dispositions constructives pour les constructions existantes a fait l'objet du rapport référencé 26058856 du 07/11/2017, consultable en mairie et à la DDT de la Moselle.

1 - PROBLÉMATIQUE DES BÂTIMENTS EN CAS D'AFFAISSEMENT DE TERRAIN

1.1 – Un modèle simplifié

Le problème de stabilité d'un bâtiment, en cas d'affaissement de terrain, repose en tout premier lieu sur la connaissance de la géométrie du système.

L'étude s'est limitée dans un premier temps à la présentation d'un modèle simplifié, c'est-à-dire, au cas où l'effet favorable des murs de remplissage peut être négligé, le rez-de-chaussée du bâtiment peut être schématisé par un portique de hauteur H_0 et de longueur L_0 (figure 2.1.1).

Les données relatives au chargement sont de type force gravitaire verticale F , les forces du vent pouvant être négligées, du fait du caractère accidentel de l'affaissement.

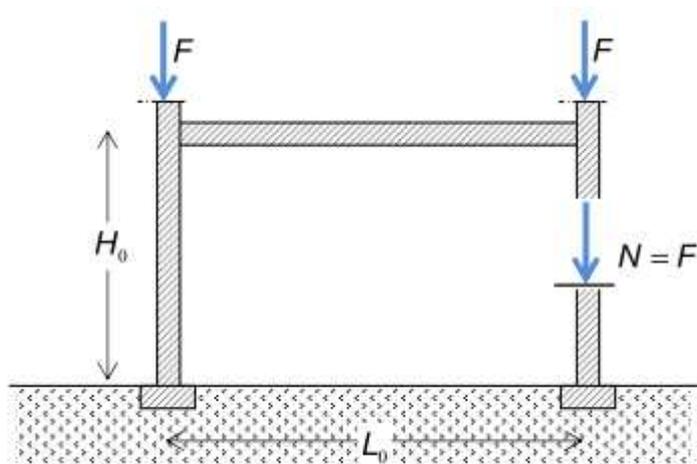


Figure 2.1.1 : Géométrie simplifiée du bâti

L'étude s'est intéressée dans cette section au problème de l'instabilité potentielle du rez-de-chaussée soumis à la charge gravitaire venant des étages supérieurs d'une part et à un affaissement du sol au niveau des fondations d'autre part.

Partant d'un état initial, c'est-à-dire avant l'apparition de l'affaissement de terrain, chaque poteau du bâti est soumis à une force axiale de compression $N = F$ sur toute la hauteur du poteau. Cet effort est dû aux chargements gravitaires des étages supérieurs, classiquement de deux types : charges permanentes et charges d'exploitation. En général, le poteau est conçu de manière à éviter tout phénomène de flambage, tandis que la force de compression maximale en pied reste très inférieure à la résistance à la compression de la section.

En cas d'affaissement de terrain, différents effets plus ou moins prévisibles peuvent se produire. Du point de vue des mouvements en surface au voisinage d'une structure lors d'un affaissement progressif, le mouvement d'un bâti peut être décomposé selon deux mouvements de corps rigides de translation et de rotation, et deux déformations, une engendrée par la déformation horizontale du sol et l'autre due à la courbure du terrain (voir figure 2.1.2 présentée par Geddes, 1984 [1], citée par Deck et al., 2002 [2]).

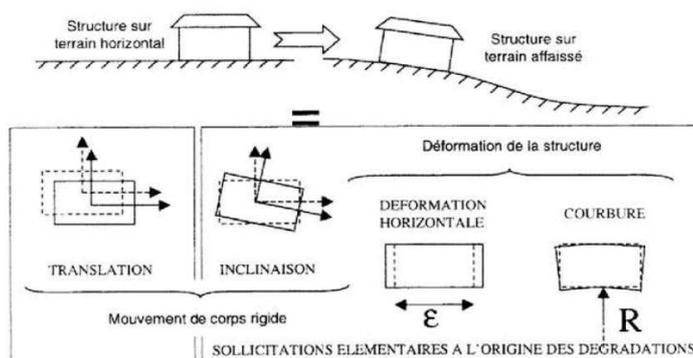


Figure 2.1.2 : Décomposition des sollicitations sur le bâti [1]

1.2 – Sollicitations induites par le mouvement de translation du terrain

Dans l'hypothèse où les affaissements sont progressifs, c'est-à-dire sans effet dynamique notable, les changements de la géométrie de la structure du bâti peuvent être négligés. La géométrie initiale du bâti représente à la fois la configuration initiale et la configuration finale (c'est-à-dire après l'affaissement) du système.

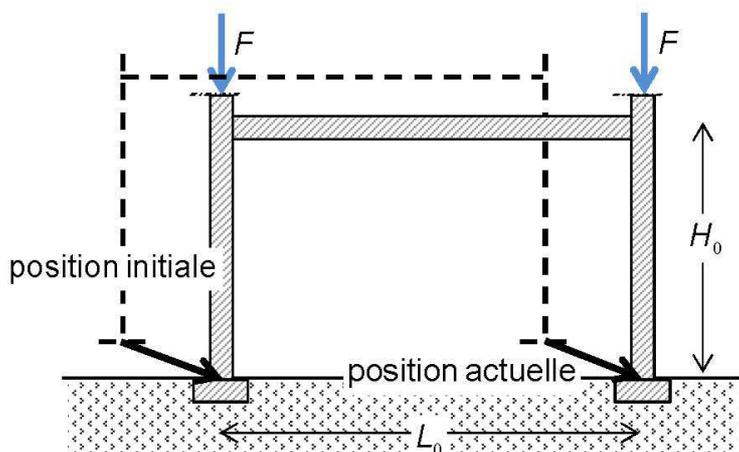


Figure 2.1.3 : Bâti soumis à un mouvement de translation du terrain

La figure 2.1.3 représente un bâti dans sa position initiale et dans sa position actuelle obtenue par une simple translation dans le plan. Il en résulte que les conditions de chargement restent inchangées. En conséquence, la stabilité globale du bâti n'est pas menacée.

1.3 – Sollicitations induites par le mouvement de rotation du terrain

Le mouvement de rotation du terrain a pour conséquence une inclinaison généralisée du bâti. Cette inclinaison du bâti induit un excentrement de la charge gravitaire par rapport à son plan vertical initial. En conséquence, des moments de flexion sont générés dans les deux poteaux verticaux en plus des efforts de compression axiale préexistants (figure 2.1.4). À mesure que la pente du terrain augmente, l'excentrement correspondant de la charge gravitaire augmente et donc également les moments de flexion qui amplifient les déplacements transversaux et donc l'excentrement.

L'analyse de cette structure conduit à calculer, dans le cas le plus défavorable, les efforts de compression et de flexion en pied du poteau à droite, en tenant compte du fait que p (exprimé en radians) $\sim \sin(p)$, du fait de la valeur de p .

$$N_p = F ; M_p = FH_0p$$

où p est la pente de l'affaissement (exprimée en radians) tandis que N_p et M_p sont respectivement l'effort normal et le moment de flexion engendrés par cette pente.

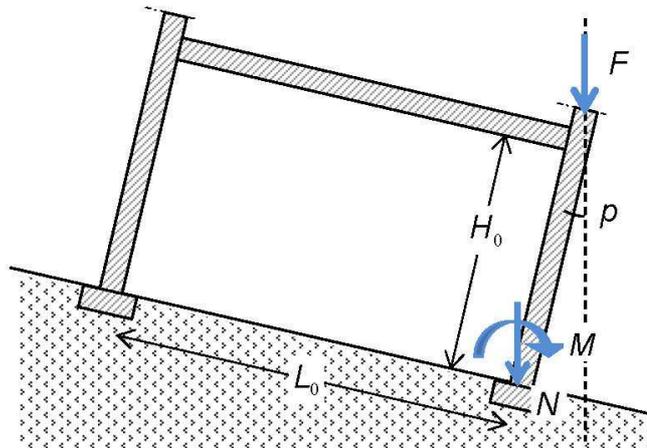


Figure 2.1.4 : Bâti soumis à une inclinaison du terrain

Dans l'hypothèse classiquement admise où les sections planes restent planes après déformation, la déformation est affine dans l'épaisseur du poteau.

En supposant que le matériau qui constitue le poteau obéit à un comportement élastique linéaire, les contraintes maximales en équilibre avec l'effort normal de compression (figure 2.5(a)) et le moment de flexion (figure 2.5(b)) engendré par l'excentricité du poteau, sont respectivement :

$$\sigma_{c,p} = \frac{F}{hb} \quad \text{et} \quad \sigma_{f,p} = \frac{6FH_0\rho}{h^2b}$$

où h et b sont respectivement l'épaisseur et la largeur du poteau. Il en résulte que l'augmentation de la contrainte maximale initiale du poteau en cas d'affaissement du terrain peut s'écrire :

$$f_{\sigma,p} = \frac{\sigma_{c,p} + \sigma_{f,p}}{\sigma_{c,p}} = 1 + \frac{6H_0\rho}{h}$$

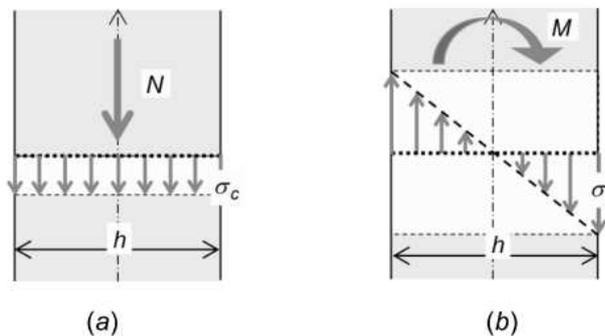


Figure 2.5 : distribution des contraintes dans l'épaisseur du poteau sous sollicitations (a) d'un effort normal et (b) d'un moment fléchissant

À titre d'illustration, un calcul mené sur un poteau, de l'épaisseur $h = 20$ cm et de hauteur $H_0 = 3$ m, montre une augmentation d'environ 2 fois la contrainte initiale pour une pente de 1 %, d'environ 3 fois pour une pente de 2 % (voir figure 2.1.6), ce qui explique pourquoi la pente est aussi importante.

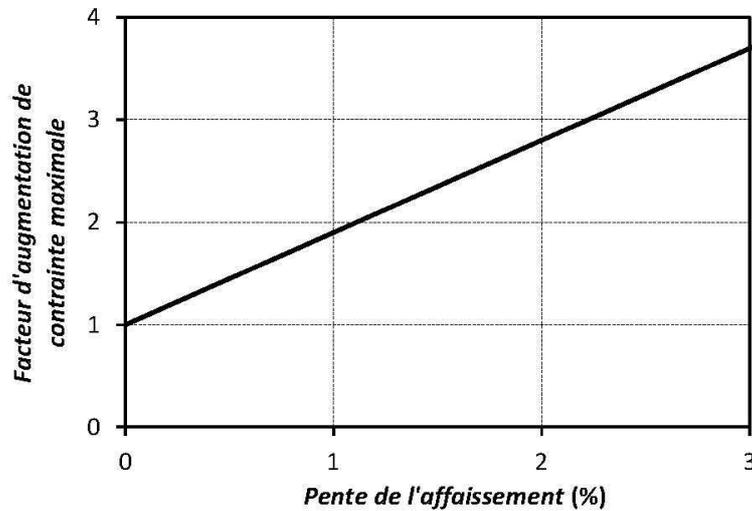


Figure 2.1.6 : Évolution du facteur d'augmentation de contraintes en fonction de la pente

On note que le calcul simplifié exposé ci-dessus, néglige tous les effets favorables des conditions aux limites telles que les hyperstaticités qui existent entre les poteaux, les poutres et les planchers ainsi que la plasticité des matériaux constitutifs.

1.4 – Sollicitations induites par la courbure du terrain

La figure 2.1.7 représente un bâti sur un terrain courbe, concave ou convexe. En général, la couche de sel est localisée à une profondeur importante du sol, ce qui induit donc une faible courbure du terrain.

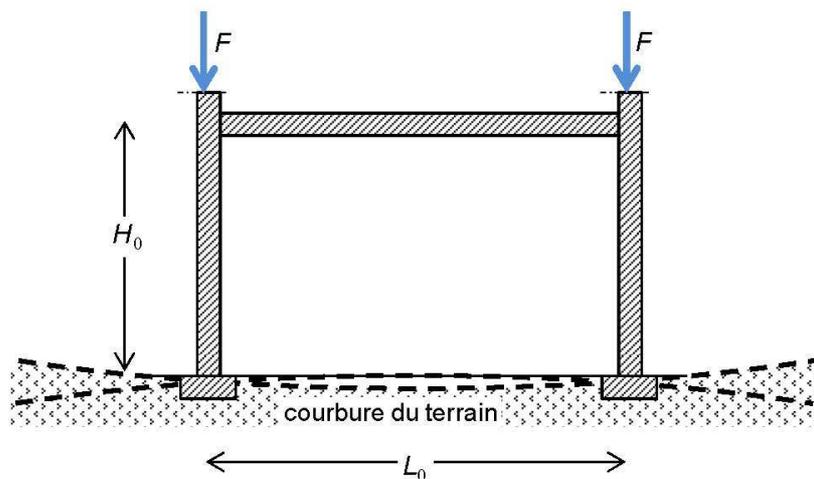


Figure 2.1.7 : Bâti soumis à une courbure du terrain

Dans les conditions où les courbures du terrain sont très faibles, c'est-à-dire les rayons de courbure sont très grands par rapport aux dimensions du bâti, les modifications des conditions de chargement sont négligeables. En conséquence, la stabilité globale du bâti n'est pas menacée.

1.5 – Sollicitations induites par la déformation horizontale du terrain

Les translations et rotations du terrain se transmettent intégralement au bâti alors que les déformations horizontales et les courbures du terrain peuvent être gênées par la présence de l'ouvrage. La proportion des déformations se transmettant à la structure dépend donc de la rigidité relative du bâti par rapport à celle du terrain. Ce phénomène est connu sous le nom « d'interaction sol-structure ». Le taux de transmission pour des ouvrages rigides en béton ou maçonnerie renforcée est de l'ordre de 10 à 30 %, et de 30 à 100 % pour les bâtiments plus souples tels que ceux en métal (Boscardin and Cording, 1989 [3 ; Saeidi, 2010 [4]). En conséquence, la déformation horizontale et la courbure de la structure engendrées par l'affaissement sont en général plus petites que celles du terrain.

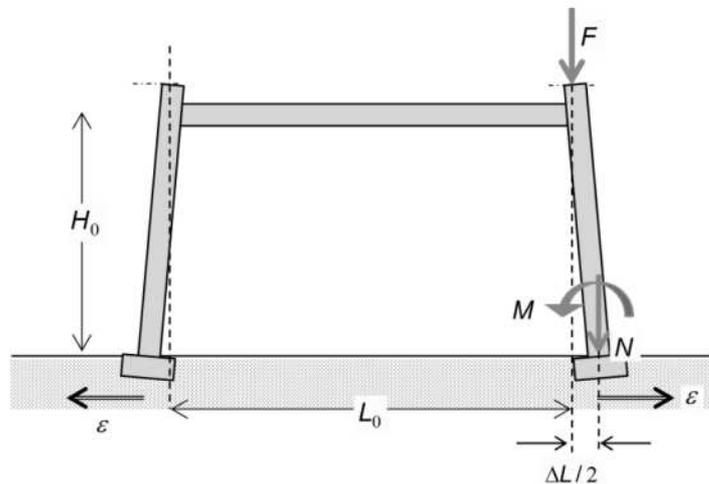


Figure 2.7 : bâti soumis à une déformation horizontale du terrain

Tenant compte du fait que la déformation horizontale du sol ne peut se transmettre entièrement à la structure, et que la structure est symétrique par rapport à son plan médian, le déplacement horizontal du pied de chaque poteau par rapport à son plan initial vertical (voir figure 2.7) s'écrit :

$$\Delta L = c_{\varepsilon} L_0 \varepsilon / 2$$

où ε est la déformation horizontale du sol et $c_{\varepsilon} \leq 1$, est le coefficient de transmission de la déformation horizontale du sol au bâti.

Le déplacement horizontal des fondations du bâti induit un excentrement de la charge gravitaire par rapport à son plan initial. En conséquence, des moments de flexion sont générés dans les deux poteaux verticaux en plus des efforts de compression axiale préexistants. À mesure que la déformation horizontale du sol augmente, l'excentrement correspondant de la charge gravitaire augmente et donc également les moments de flexion qui amplifient les déplacements transversaux et donc l'excentrement.

L'analyse de cette structure conduit à calculer les efforts de compression et de flexion en pied de chaque poteau :

$$N_{\varepsilon} = F ; M_{\varepsilon} = F\varepsilon = c_{\varepsilon}FL_0\varepsilon/2$$

où N_{ε} et M_{ε} sont respectivement l'effort normal et le moment de flexion engendrés par la déformation horizontale du sol.

Dans le cadre du comportement élastique linéaire du matériau constitutif, les contraintes maximales en équilibre avec l'effort normal de compression et le moment de flexion engendré par l'excentricité de ce dernier s'écrivent :

$$\sigma_{c,\varepsilon} = \frac{F}{hb} \quad \text{et} \quad \sigma_{f,\varepsilon} = \frac{3c_{\varepsilon}FL_0\varepsilon}{h^2b}$$

ce qui conduit au facteur de l'augmentation de la contrainte maximale initiale du poteau en cas d'affaissement du terrain :

$$f_{\sigma,\varepsilon} = \frac{\sigma_{c,\varepsilon} + \sigma_{f,\varepsilon}}{\sigma_{c,\varepsilon}} = 1 + \frac{3L_0c_{\varepsilon}\varepsilon}{h}$$

À titre d'exemple illustratif, la figure 2.1.9 ci-dessous représente l'évolution du facteur d'augmentation de contraintes en fonction de la déformation horizontale du sol, du même poteau d'épaisseur $h = 20$ cm ci-dessus, le coefficient de transmission de la déformation horizontale du sol au bâti étant $c_{\varepsilon} = 1$ et la longueur du portique étant $L_0 = 15$ m.

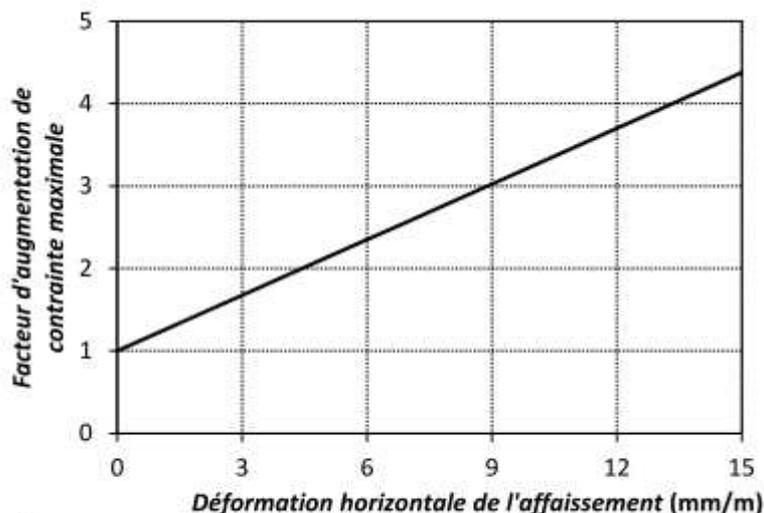


Figure 2.1.9 : Évolution du facteur d'augmentation de contraintes en fonction de la déformation horizontale du sol en cas d'affaissement de terrain

Sur la dernière figure on observe une augmentation d'environ 2 fois la contrainte initiale pour une déformation horizontale du sol de 4 mm/m, d'environ 3 fois pour une déformation horizontale de 9 mm/m.

1.6 – Comportement des murs de remplissage

Outre les sollicitations supplémentaires, la pente, la déformation horizontale et la courbure de l'affaissement de terrain, modifient de façon importante l'état initial des murs de remplissage, induisant par exemple, du fait de l'incompatibilité géométrique, des déformations.

Les figures 2.10 à 2.12 ci-dessous illustrent les désordres potentiels sur les murs de remplissage dans de telles conditions.

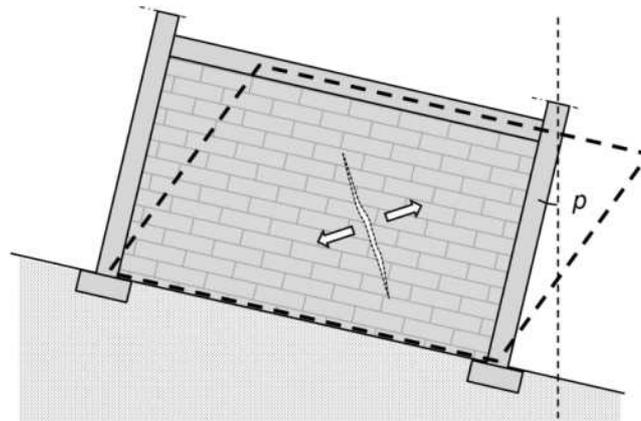


Figure 2.10 : exemple de fissures diagonales induites par la mise en parallélogramme du mur de remplissage en cas de mise en pente du terrain

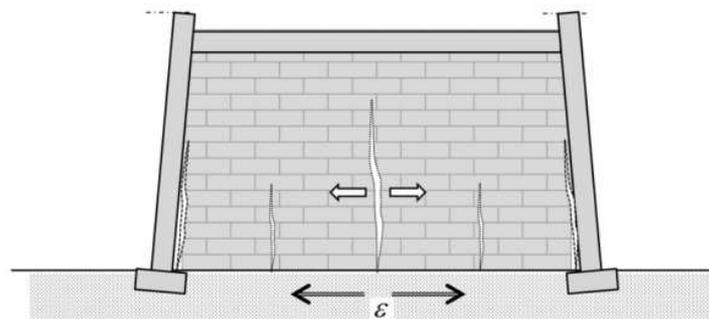


Figure 2.11 : exemple de fissures verticales induites par la déformation horizontale du terrain

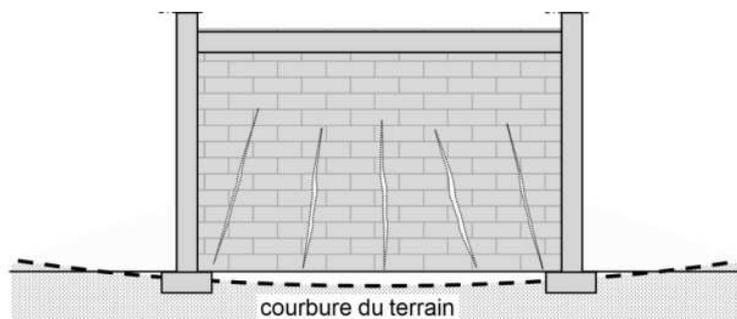


Figure 2.12 : exemple de fissures verticales et diagonales induites par la courbure du terrain

1.7 – Un modèle plus réaliste

Dans des conditions plus réalistes où les bâtis possèdent un comportement *tridimensionnel* (3D), outre une certaine complexité, les caractéristiques relatives à :

- la forme du bâti ;
- la longueur du bâti ;
- l'éventualité d'une interaction avec une autre construction accolée ou proche ;
- l'éventualité d'une interaction sol-structure des parties enterrées de l'ouvrage ;
- la nature du terrain (pente, type de sol...) ;

font apparaître des sollicitations supplémentaires auxquelles conduisent les mouvements d'affaissements de terrain. Dans ce contexte, il a été analysé :

- d'une part, les sources de désordres potentiels susceptibles de rendre des bâtiments plus vulnérables par rapport aux analyses sur le modèle simplifié exposé dans la section précédente.
- d'autre part des spécificités du bâti liées à des particularités constructives pouvant entraîner une dégradation de la résistance de la construction ou une amplification du phénomène d'affaissement. Ces points faibles des bâtiments sont susceptibles de les rendre plus vulnérables par rapport aux analyses sur le modèle simplifié exposé dans la section précédente.
-

A – Forme du bâti

Étant donnée la différence des rigidités transversale et longitudinale, chaque corps de bâti ne se comporte pas de la même manière en cas d'affaissement de terrain. À la jonction des ailes, les concentrations de contraintes sont importantes (exemple des figures de 2.13, 2.14 et 2.2.3).



Figure 2.13 : exemple de concentrations de contraintes à la jonction des ailes d'un bâti de forme en « L »

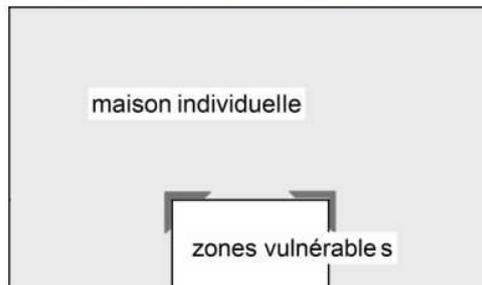


Figure 2.14 : exemple de concentrations de contraintes à la jonction des ailes d'un bâti de forme en « U »

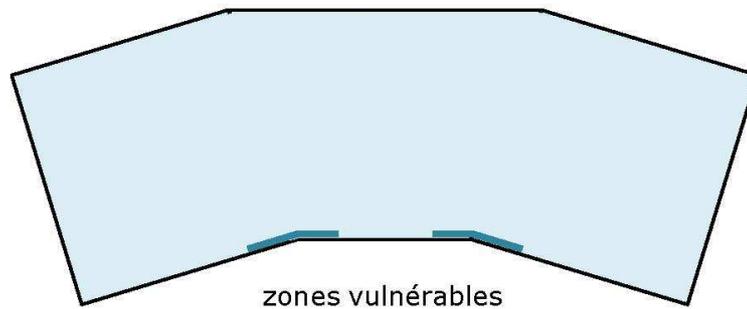
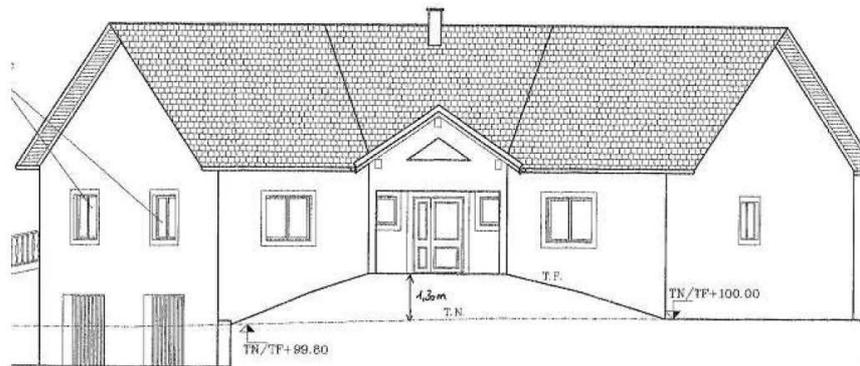


Figure 2.2.3 : Exemple d'un projet de bâti neuf de forme en « V »

Les problèmes de concentrations de contraintes, engendrés par la géométrie complexe des constructions, se retrouvent également en élévation : lorsque les ailes n'ont pas la même hauteur (figure 2.15) ou les niveaux successifs ne sont pas superposés et de même dimension (exemple de figure 2.16).



Figure 2.15 : exemples d'une irrégularité engendrée par une différence de hauteurs de deux corps de bâtiment



Figure 2.16 : exemple d'une irrégularité engendrée par un porte-à-faux

Une forte longueur du bâtiment (exemple de la figure 2.17), face à la courbure concave (figure 2.18) ou convexe (figure 2.19) en début et en fin d'affaissement, conduit à une perte de contact entre la fondation et le sol d'assise. Il en résulte que les moments de flexion supplémentaires sont générés lorsque la fondation se trouve en position « porte-à faux ».



Figure 2.17 : exemple d'un bâtiment de longueur importante (supérieure à 30 m)

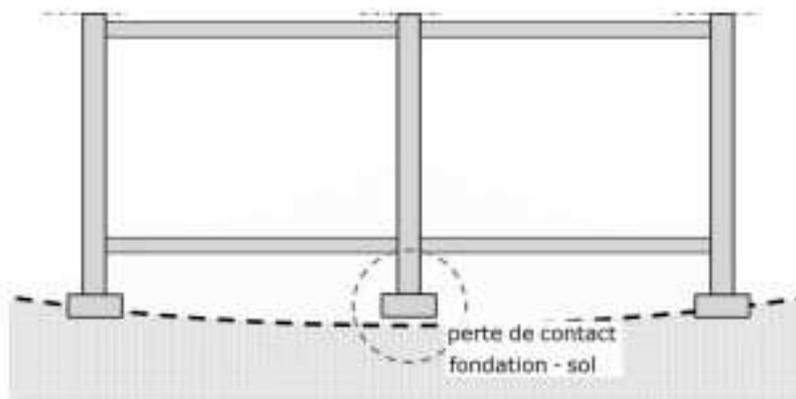


Figure 2.18 : exemple d'une perte d'appui des fondations engendrée par une courbure concave du terrain

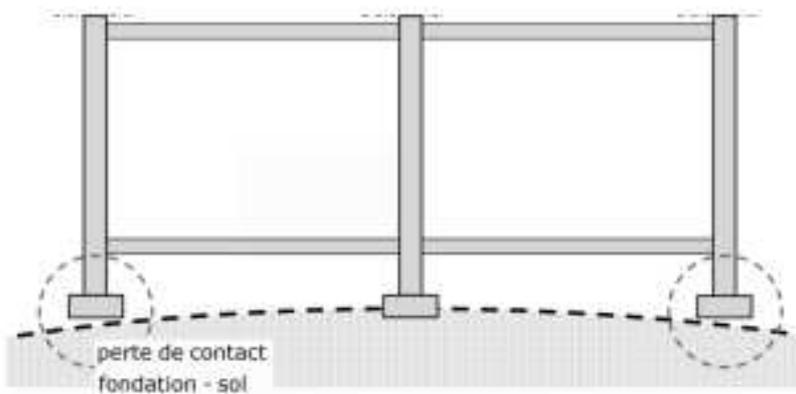


Figure 2.19 : exemple d'une perte d'appui des fondations engendrée par une courbure convexe du terrain

B – Interaction avec une autre construction accolée ou proche

La disposition des constructions mitoyennes ou accolées présente également une forte longueur. Lorsque les planchers des constructions sont décalés, cas fréquent pour les bâtiments situés le long d'une pente (figure 2.20 par exemple), le mur de séparation risque d'être littéralement découpé par les deux planchers.

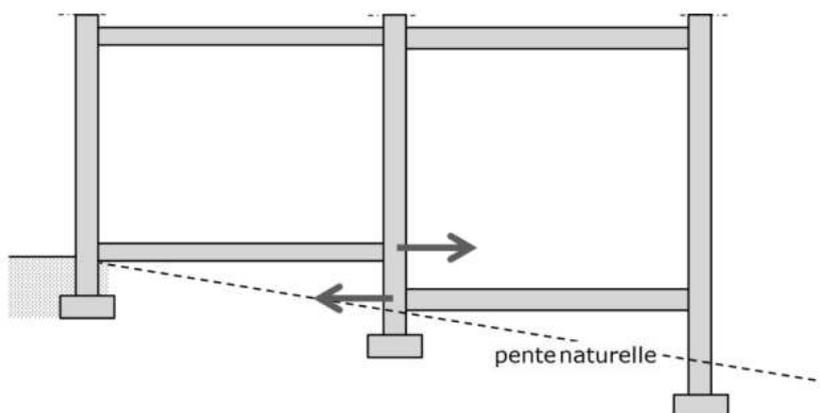


Figure 2.20 : sollicitations supplémentaires sur les bâtis mitoyens dont les planchers sont décalés

De même, les garages (ou annexes) accolés aux maisons individuelles (exemple de la figure 2.21), souvent construits ultérieurement, représentent un risque de désordre similaire à celui des constructions mitoyennes. Dans cette configuration, les garages sont, dans la plupart des cas, de hauteur sous plafond inférieure à la hauteur d'étage de la construction voisine. Généralement la toiture terrasse se situe en dessous du plancher de l'étage de la maison individuelle.

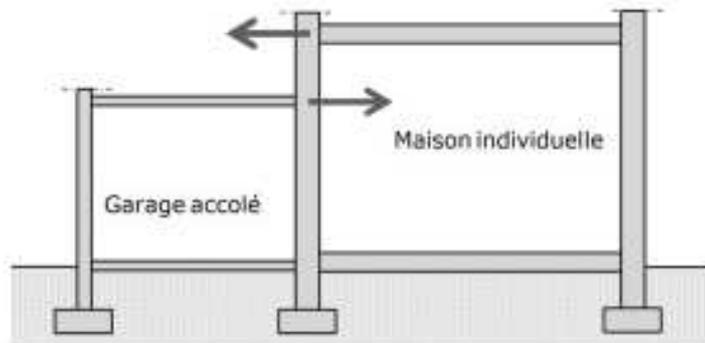


Figure 2.21 : exemple de sollicitations supplémentaires sur la maison individuelle accolée à un garage.

C – Présence des éléments non structuraux accolés (clôtures, vérandas, ...)

Les vérandas légères (figure 2.22) subiront les déplacements de la structure. Néanmoins, les éléments non structuraux lourds, tels que les murs de clôture de la figure 2.23 par exemple, ou les cloisons lourdes peuvent être des sources de désordres importants lorsqu'ils sont directement rattachés à la structure principale du fait que ces éléments peuvent représenter des points durs sur la construction avoisinante.



Figure 2.22 : exemple de la présence d'une véranda légère rattachée à la structure principale

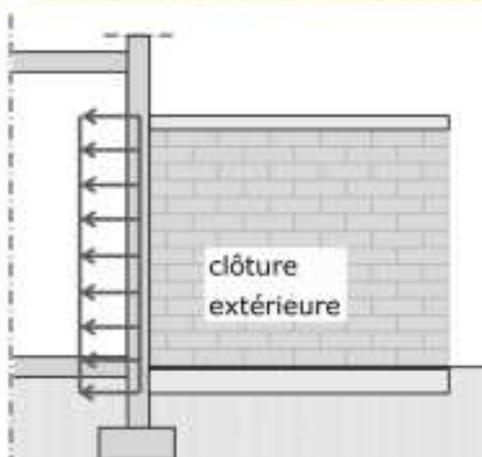


Figure 2.23 : exemple de la présence d'un mur de clôture rattaché à la structure principale

D – Pente élevée du terrain

Suivant l'adaptation de la construction au terrain, une forte pente peut provoquer une surpression importante des terres sur la partie enterrée du bâti en cas d'affaissement de terrain. Dans ce cas, les désordres sont susceptibles de se produire à deux étapes de l'affaissement, pendant la phase où la pente est la plus élevée (figure 2.24(a)) et dans la phase de redressement du terrain qui provoque une surpression importante des terres (figure 2.24(b)).

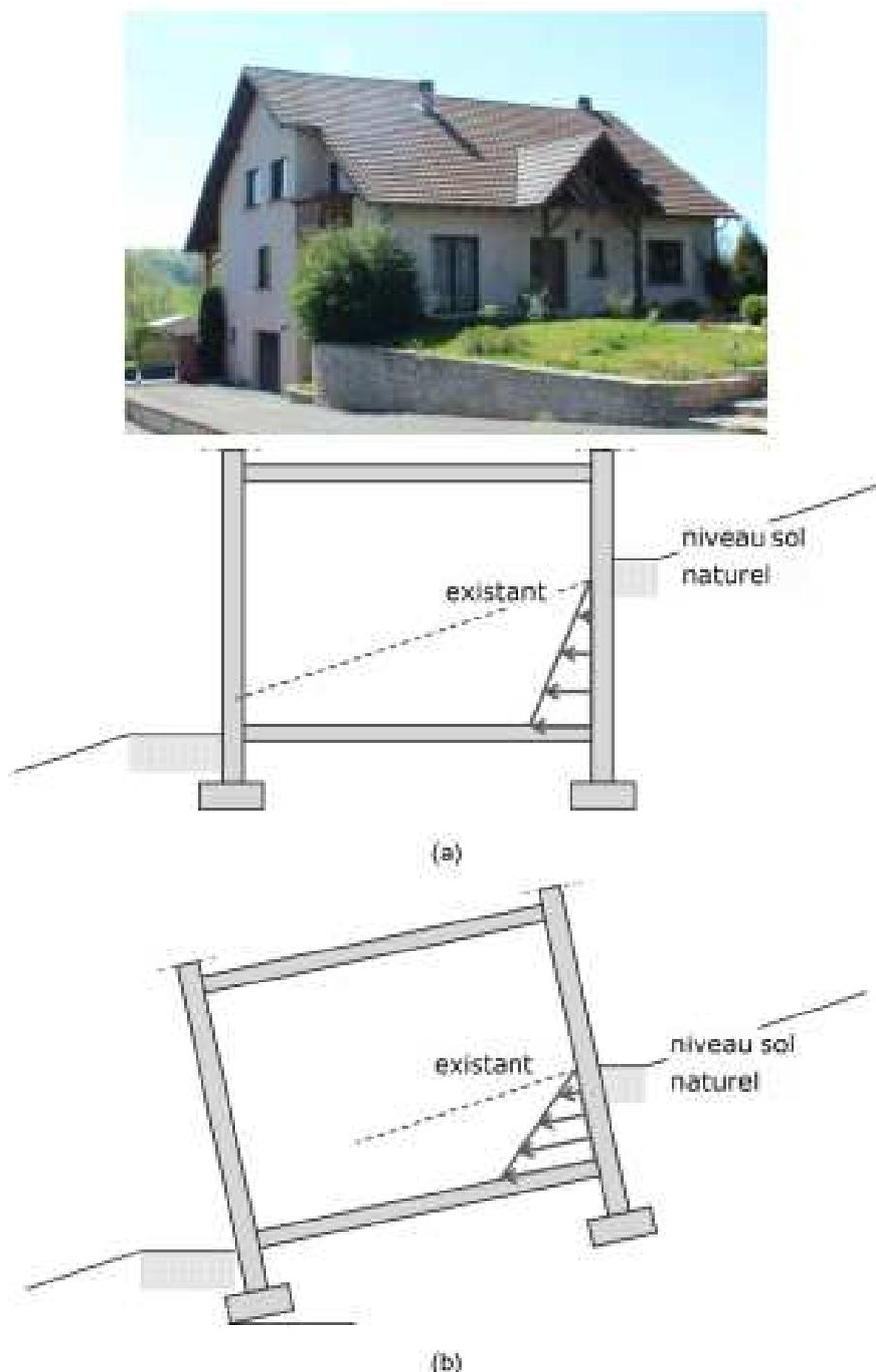


Figure 2.24 : bâti semi enterré : (a) avant l'affaissement et (b) au cours de l'affaissement

E – Mauvais état de conservation

Le mauvais état de conservation (figure 2.25) est le facteur aggravant le plus qualitatif pour la vulnérabilité d'une construction existante. Certaines constructions présentent des désordres structuraux plus ou moins importants qui peuvent être visibles de l'extérieur. Des fissures préexistantes dans une construction avant l'affaissement sont des points faibles à partir desquels les désordres potentiels peuvent se développer.



Figure 2.25 : exemples de mauvais état de conservation visibles de l'extérieur

1.8 – Collision entre les bâtiments

Lors de la formation en cuvette, le raccourcissement de la distance d'isolement peut conduire à une collision entre les bâtiments adjacents. Cette distance est la somme de deux contributions :

$$j_{1,2} = j_{1,2/courbure} + j_{1,2/\varepsilon}$$

où $j_{1,2/courbure}$ et $j_{1,2/\varepsilon}$ sont respectivement les contributions dues à la courbure et à la déformation horizontale du terrain (figures 2.26 et 2.27).

La distance d'isolement entre les bâtiments en présence de la courbure du terrain, s'écrit :

$$j_{1,2/courbure} = j_{1,2/0} - (p_1 H_1 + p_2 H_2)$$

où $j_{1,2/0}$ est la distance d'isolement initiale entre deux bâtiments de hauteurs H_1 et H_2 avant l'apparition de la courbure du terrain, tandis que :

$$p_1 = L_1 / 2R_{\min} \text{ et } p_2 = L_2 / 2R_{\min}$$

sont respectivement les inclinaisons des murs de chaque bâtiment par rapport à leurs plans verticaux initiaux, R_{\min} étant le rayon de courbure minimal de la cuvette d'affaissement.

Similairement, la distance d'isolement en présence de la déformation horizontale du sol peut s'écrire :

$$j_{1,2/\varepsilon} = j_{1,2/0}(1 - \varepsilon) - (\Delta L_1 / 2 + \Delta L_2 / 2)$$

où $j_{1,2/0}$ est la distance d'isolement initiale entre deux bâtiments de longueurs L_1 et L_2 avant l'apparition de la déformation horizontale du sol, tandis que :

$$\Delta L_1 = c_{\varepsilon 1} L_1 \varepsilon \text{ et } \Delta L_2 = c_{\varepsilon 2} L_2 \varepsilon$$

sont respectivement les déplacements horizontaux des pieds du mur de chaque bâtiment par rapport à leurs plans initiaux, $c_{\varepsilon 1} \leq 1$ et $c_{\varepsilon 2} \leq 1$ étant les coefficients de transmission de la déformation horizontale du sol aux bâtiments.

Finalement, la condition de désolidarisation entre deux constructions voisines vérifiant :

$$j_{1,2} \geq 0$$

conduit à la condition de la distance d'isolement initiale :

$$j_{1,2/0} \geq (\rho_1 H_1 + \rho_2 H_2) + \frac{\varepsilon(c_{\varepsilon 1} L_1 + c_{\varepsilon 2} L_2)}{2(1-\varepsilon)} = \frac{L_1 H_1 + \rho_2 H_2}{2R_{\min}} + \frac{\varepsilon(c_{\varepsilon 1} L_1 + c_{\varepsilon 2} L_2)}{2(1-\varepsilon)}$$

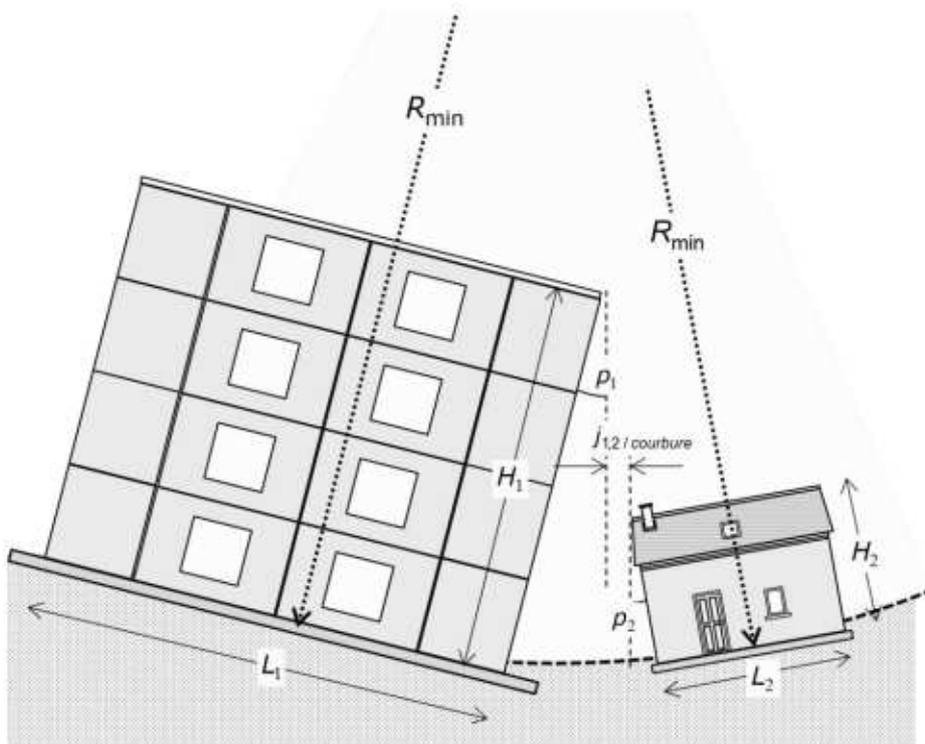


Figure 2.26 : raccourcissement de la distance d'isolement engendré par la courbure du terrain

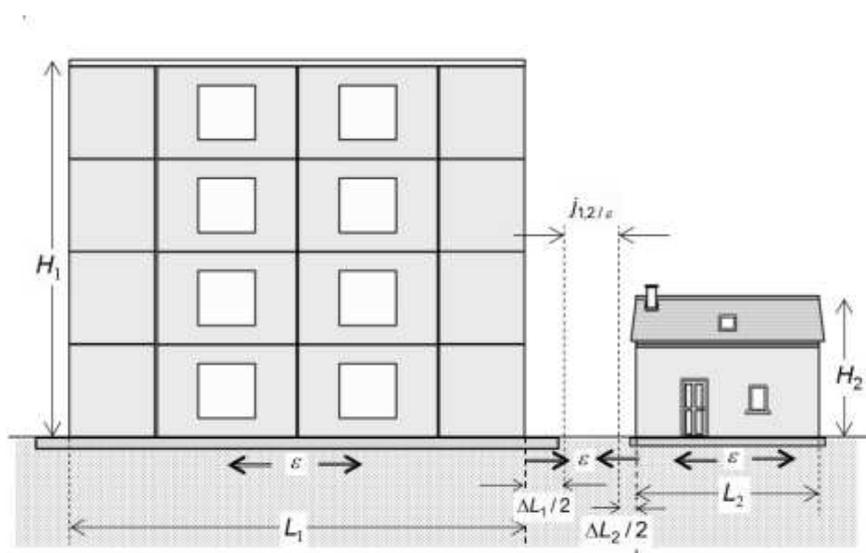


Figure 2.27 : raccourcissement de la distance d'isolement engendré par la déformation horizontale du sol

G - QUALIFICATION ET GESTION DU RISQUE, DANS LE CADRE DU PPRN

1 - DÉFINITION DE LA NOTION DE RISQUE

Un risque naturel implique l'exposition des populations humaines et de leurs infrastructures à un événement d'origine naturelle, dommageable, destructeur et/ou catastrophique.

Il est la mesure de la gravité et de la probabilité de la situation qui résulte :

- de la confrontation de l'aléa (phénomène décrit dans les chapitres précédents)
- et
- de la zone géographique où existent des enjeux humains, économiques ou environnementaux.

2 - ANALYSE DES ENJEUX

Les enjeux sont liés :

- à la présence humaine (personnes, habitations, activités, économie, infrastructures...)
- et
- à sa vulnérabilité, qui dépend des éléments exposés et de leurs résistances, comportements, etc. La vulnérabilité est spécifique, d'un site à un moment donné, modulable et évolutive, en fonction ou non de l'activité humaine.

À ces deux concepts, s'ajoute la nécessité de caractériser les capacités de résistance (à subir, à supporter) et de résilience, pour accepter et surmonter le phénomène, présent et à venir.

a – Dynamiques démographique et immobilière à HILSPRICH

Démographie et Économie

À partir des années 1960, le phénomène de diminution du nombre des habitants du village s'est inversé vers une progression sensible et constante (686 habitants en 1975 – 907 en 2011).

Parallèlement à cette donnée et en termes d'économie, c'est bien l'activité agricole qui a jusqu'à là essentiellement animée le village. Présente auparavant dans quasiment toutes les rues de HILSPRICH, cette activité s'est modifiée par des exploitations plus importantes, implantées plutôt vers « les extérieurs » des zones habitées du village.

Très peu de commerces et/ou services sont aujourd'hui implantés dans le bourg. La « nouvelle » population réside à HILSPRICH et exerce une activité à l'extérieur de la commune.

Parc immobilier

La composition et l'occupation du parc immobilier, dénombré à environ 570 logements, se répartissent de la façon suivante :

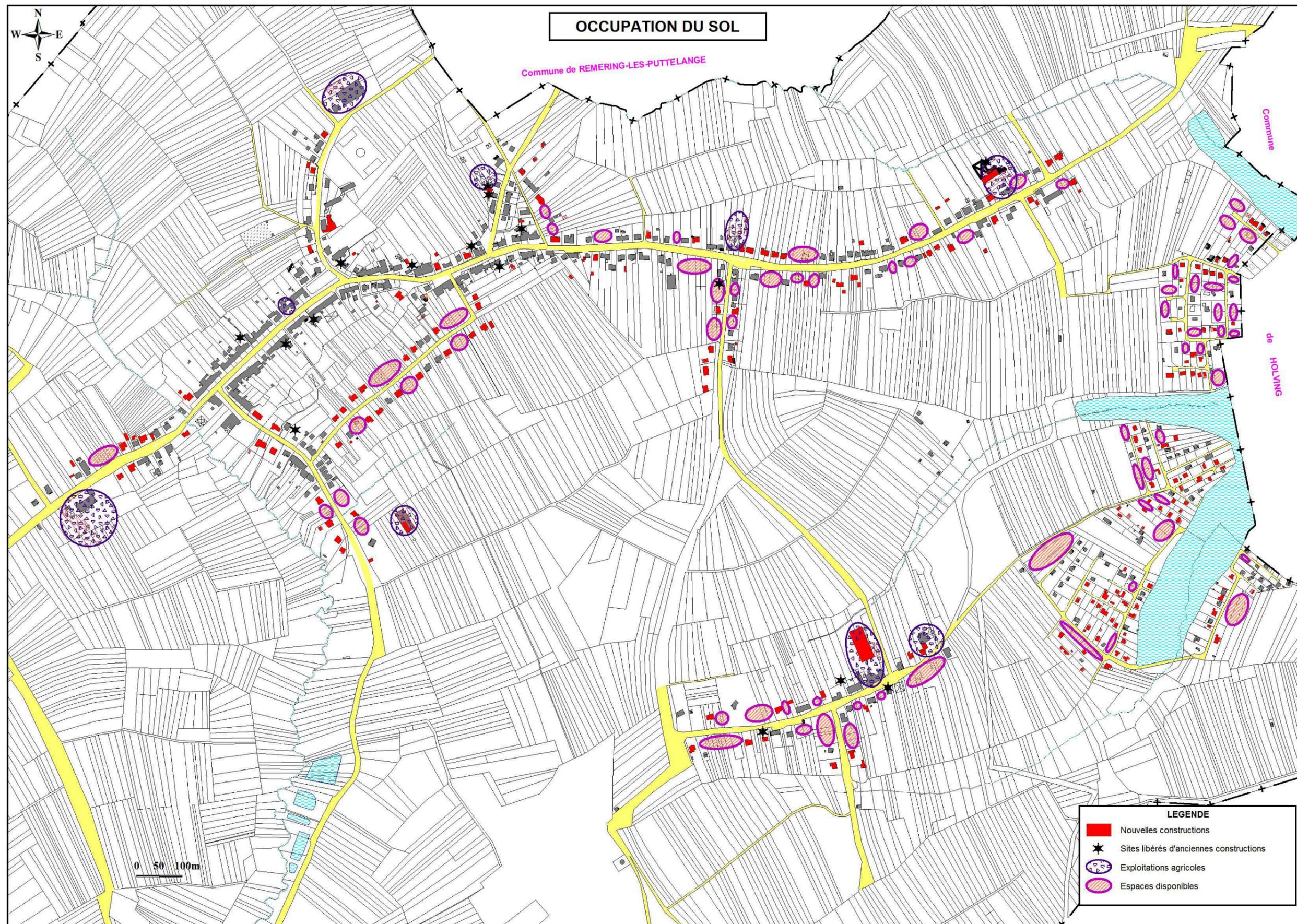
- 361 résidences principales et 109 résidences secondaires ;
- 284 occupées par les propriétaires contre 76 logements loués ;
- 46 logements vacants, dont 29 en vacance supérieure à 1 an ;
- 10 logements occupés par leurs propriétaires ont bénéficié de subventions ANAH, pour réhabilitation, depuis 2006 ;
- 7 logements sociaux (conventionnement État).

Ces chiffres, et plus précisément le nombre des résidences principales occupées par les propriétaires eux-mêmes, soit 80 % du parc immobilier, conduisent à considérer cette population plutôt stable, installée dans une perspective d'ancrage dans le village. L'entretien des habitations, même anciennes, et leur mise en valeur, comme pour les espaces privés attenants, démontre un réel attachement au site.

Occupation du territoire communal

Depuis 1978, la commune de HILSPRICH était dotée d'un Plan d'Occupation des Sols (POS). Mais comme l'a prévu la loi ALUR et conformément aux articles L174-1 et L174-3 du Code de l'Urbanisme (CU), la procédure de transformation de ce POS en plan local d'urbanisme (PLU) n'ayant pas été achevée avant le 27 mars 2017, ce POS est caduc et le règlement national d'urbanisme (RNU) s'applique depuis cette date sur le territoire communal. Le retour au RNU implique en particulier l'application de la règle dite de « constructibilité limitée », qui n'autorise l'extension de l'urbanisation que dans les parties actuellement urbanisées (PAU) de la commune, conformément à l'article L111-3 du CU.

La commune ne dispose toujours pas d'un PLU approuvé.



b – Vulnérabilités matérielle et morale

Matériellement, au droit du village

Le village dans son ensemble est impacté, d'une part de manière réelle, par des immeubles et aménagements considérablement dégradés, d'autre part du fait de la probabilité d'apparition de nouveaux affaissements sur une grande emprise.

Ainsi la partie nord-ouest de la cuvette impacte fortement le secteur urbain de la rue de Kappelkingen, avec l'intersection de la rue des Jardins. En périphérie de ce secteur, s'étend sur une importante superficie une zone identifiée à aléa fort qui, elle, recouvre largement le secteur autour des rues Saint-Jean et Principale.

Dans ces deux zones, la vulnérabilité des biens s'est manifestée sur certains bâtiments dans des proportions telles que la seule alternative, pour assurer la sécurité des personnes, n'a pu être que leur démolition. Pour les maisons non encore endommagées, le risque reste possible et la préconisation de mesures de prévention pour sécuriser leur assise doit encore être définie, à l'appui des investigations et des expertises complémentaires envisagées.

Les secteurs « seconde partie de la rue Principale, rue de l'Église » et « hameau Morsbronn », en périphérie de la zone à aléa fort, sont eux aussi figés au regard de l'urbanisation, à titre de prévention, pour un aléa qualifié de fort et de moyen, et ce en attente de nouvelles investigations d'ores et déjà programmées.

Seule les parties Nord-Est et Est du village, c'est-à-dire le long des rues de Castviller, de la Chapelle et autour de l'étang de Hirbach, identifiées en aléa faible, semblent moins menacées par le phénomène et pourraient accueillir de nouvelles constructions, sous réserve néanmoins de la mise en œuvre de précautions constructives adaptées.

Ce constat particulièrement contraignant a des conséquences fortes sur le bâti existant quant à son impossibilité d'évoluer (agrandissement, amélioration et/ou restauration des biens pour extension, changement d'usage...), sur les projets d'acquisition de terrains et d'installation de nouveaux foyers. Les répercussions sur le fonctionnement de la commune, à travers ses services (écoles par exemple) et son cadre de vie sont inévitables ; la commune subit d'ores et déjà des départs de familles vers d'autres communes, pour la réalisation de leurs projets de construction.

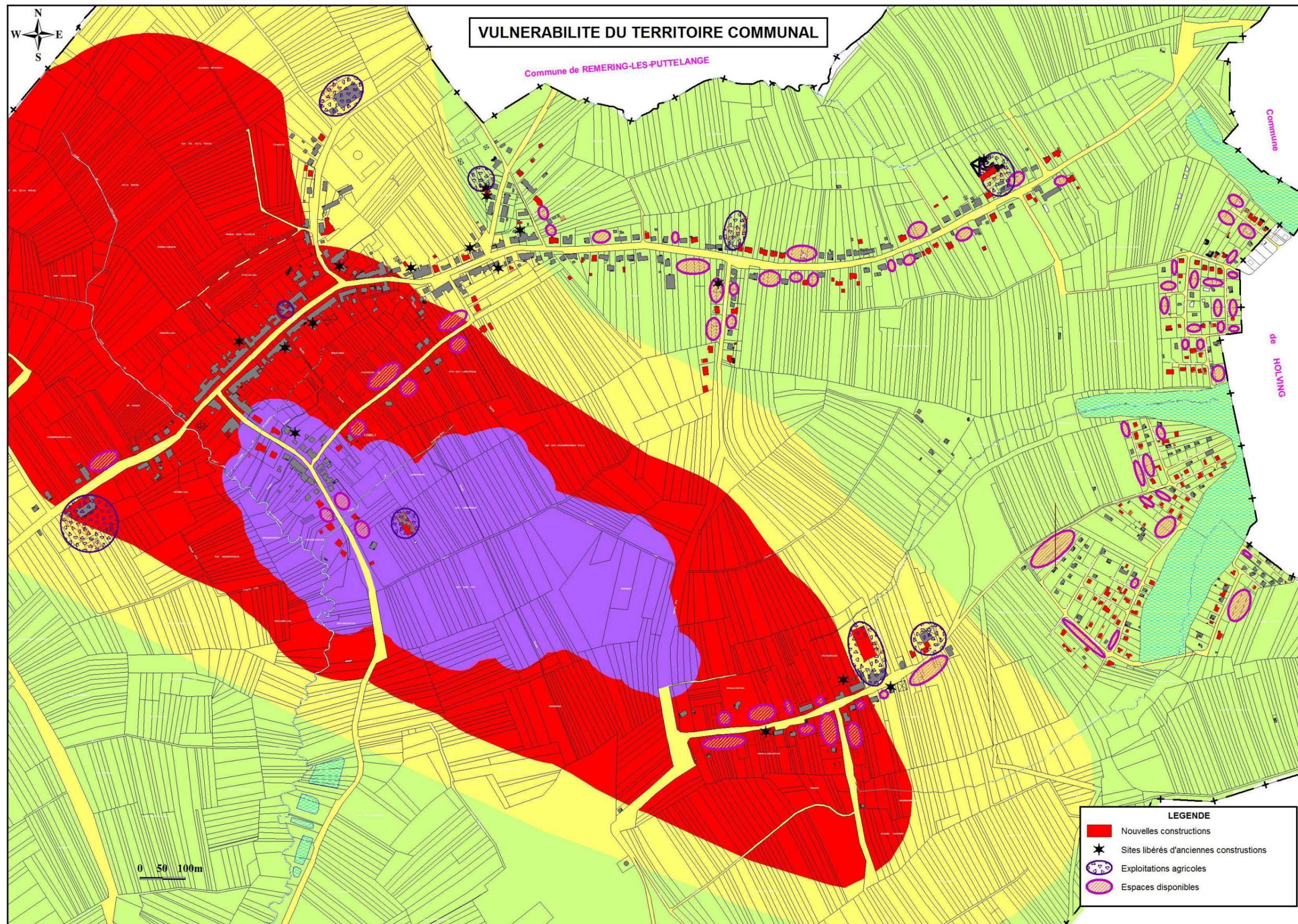
En termes de perspective et de maîtrise « humaine »

De cinétique lente mais physiquement apparentes et préjudiciables, les dégradations endommagent pour la plupart des constructions occupées par les familles ; pour les autres, non touchées à ce jour, le « danger » ne peut être considéré nul. Ainsi cette situation d'attente, de veille, particulièrement inconfortable crée un état d'inquiétude conforté par ailleurs par la « violence » vécue lors des démolitions des bâtiments rendus dangereux pour la sécurité des personnes.

Ces événements remettent en question le présent mais également toute projection dans un avenir à court et moyen terme, au regard d'un bien, de sa pérennité, de sa valeur et par extension de sa transmission patrimoniale.

Instaurée depuis le début des investigations, c'est-à-dire depuis août 2010, l'interdiction stricte d'intervenir sur le bâti existant et pour tout nouveau projet a figé dans son ensemble l'urbanisation du village. L'espoir pour les riverains d'aboutir finalement à des solutions techniques et concrètes pour prévenir et stopper les affaissements n'est pas la réponse qui leur est soumise aujourd'hui.

Sur la base des connaissances et des probabilités d'évolution, la juxtaposition de la cartographie des aléas sur le plan de l'urbanisation actuelle permet de comprendre aisément la gravité de la situation que traverse la commune d'HILSPRICH.



3 - JUSTIFICATION DU PPRN PAR LA PRISE EN COMPTE DU RISQUE

Compte tenu de ce qui précède, l'élaboration de ce PPRN permet d'appréhender dans un cadre réglementaire la problématique de la commune de HILSPRICH qui résulte par conséquent de l'existence du risque naturel connu, des conséquences sur les biens et pour les personnes et de la continuité de propagation des désordres.

Sur la base des connaissances acquises et à conforter, par l'ensemble des investigations réalisées et encore programmées, les objectifs du PPRNmt visent à :

- prévenir le risque, pour l'existant comme pour le neuf ;
- limiter la vulnérabilité des biens ;
- assurer la sécurité des personnes ;
- rappeler les responsabilités de chacun dans toute intervention en sous-sol ;
- accompagner le dispositif Reconnaissance CAT.NAT.

Ce document opposable, particulièrement contraignant, est destiné à être révisé en fonction de l'évolution du phénomène ou de la connaissance par les études de la compréhension du mécanisme de la dissolution du sel.

4 - TRADUCTION CARTOGRAPHIQUE ET RÉGLEMENTAIRE

a – Plan de zonage

Sur la base des connaissances actuelles, le plan de zonage couvre tout le territoire communal.

Les quatre zones identifiées et réglementées sont les suivantes :

- une zone parme – P – à aléa très fort ;
- une zone rouge – R – à aléa fort ;
- une zone jaune – J – à aléa moyen ;
- une zone verte – V – à aléa faible.

Elles coïncident avec la carte d'aléa de novembre 2017.

b – Principe de réglementation

Eu égard aux dommages survenus, par mesure de prévention et jusqu'à ce que les études scientifiques soient en mesure de définir les niveaux et secteurs de propagations de dissolution du sel, les prescriptions sont particulièrement contraignantes et restrictives.

En l'occurrence, les zones parme (P), rouge (R) et jaune (J) sont inconstructibles, sauf exception. La zone verte (V) est constructible sous réserve de justifications et de prescriptions.

Par conséquent, la faisabilité des travaux envisagés, sur le sol ou en sous-sol, est conditionnée par les mises en application, prises en compte et fournitures des pièces demandées au règlement du présent PPRNmt :

Annexe1 : extrait de l'«étude CSTB de définition des dispositions constructives sur la commune de Hilsprich pour les projets neufs du 7 novembre 2017 – Définition des typologies pour les projets neufs»

L'étude préconise et/ou recommande les techniques et dispositions à mettre en œuvre pour des projets de typologies correspondantes à celles analysées et détaillées (de type 1 à 4). Les dispositions constructives de renforcement proposées et à prendre en compte pour toute réalisation visent le respect de l'intégrité du bâtiment au niveau de la structure, du clos et du couvert, des réseaux d'eaux et des corps d'état secondaires.

Sont également abordés dans cette annexe, d'autres procédés constructifs, dits alternatifs, particulièrement adaptés pour résister à des affaissements de terrains, telles que les constructions à ossature bois et les constructions à ossature métallique.

Annexe2 : « cahier des charges CSTB pour la réalisation d'une étude de projet de construction neuve hors typologie »

Pour tout projet considéré hors typologie de ceux décrits dans l'annexe 1, ce cahier des charges a pour objet de porter à la connaissance des maîtres d'ouvrages, maîtres d'œuvre et acteurs de la construction, la problématique d'affaissement, ainsi que le niveau d'endommagement limite acceptable à considérer sur la commune de Hilsprich, avec pour finalité l'élaboration d'une étude de conception adaptée aux caractéristiques de l'aléa.

Annexe3 : « modèle d'attestation pour la réalisation d'une étude de projet de construction neuve hors typologie »

Cette attestation signée par l'architecte ou le bureau d'étude et visée par le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre confirme l'élaboration de l'étude de conception, au sens de l'article R431-16 du Code de l'Urbanisme, sur la base du cahier des charges, objet de l'annexe 2.

Annexe4 : extrait de l'«étude CSTB de définition des dispositions constructives pour les constructions existantes» du 7 novembre 2017 – Définition des typologies pour les bâtiments existants»

L'étude a consisté d'une part, à proposer des règles constructives permettant d'envisager des travaux de réhabilitation sur les constructions existantes, sans que le risque soit significativement augmenté, et d'autre part, à explorer des techniques de renforcement des bâtiments afin de réduire leur vulnérabilité en cas d'un affaissement progressif du terrain.

Il s'agit ici de l'élaboration d'une typologie à partir des critères pouvant être appréhendés par un simple constat visuel de la construction. Ce choix s'est attaché à regrouper les bâtiments courants selon leur comportement structural et leur ductilité d'ensemble. Il permet d'étudier le bâti selon une catégorie de constructions plutôt que d'analyser la commune maison après maison.

Dans un souci de simplification de la démarche, et après analyse du bâti existant sur la commune de HILSPRICH, il est proposé de retenir une typologie contenant sept types de bâtiments représentatifs. Ces bâtiments sont de forme rectangulaire allongée et ne comportent pas de décrochements en plan. Les fondations les plus souvent mises en œuvre sont des fondations superficielles en béton armé.

De manière générale et étendue à l'ensemble de la commune

- Dès la survenance d'un désordre de type mouvement de terrain lié à la dissolution de sel sur toute réalisation postérieure à l'approbation du PPRNmt, les précautions prises en respect des dispositions préconisées ci-dessus seront à démontrer.

- **GÉOTHERMIE**

La commune de HILSPRICH est située en zone rouge au titre de la réglementation sur les activités de géothermie dite "de minime importance" (GMI), définie par le décret n°2015-15 du 8 janvier 2015 (voir carte ci-dessous), ce qui signifie que **les activités géothermiques présentent des dangers ou inconvénients graves pour l'environnement**. Le cadre réglementaire de la GMI (décret n°2015-15 du 8 janvier 2015) ne peut donc s'appliquer et les activités de géothermie de moindre importance sont interdites sur la totalité du ban communal de HILSPRICH.

En raison de la présence probable de sel dans le sous-sol de l'intégralité de la commune, et par mesure de prévention, les sondages pour d'autres usages (forage d'eau par exemple) sont interdits sur le ban communal de HILSPRICH. En effet, les sondages sont susceptibles de recouper des niveaux de gypse et d'anhydrite dans les 50 premiers mètres et recouperont au-delà la couche de sel.

Seuls les forages réalisés dans un objectif de recherche scientifique et de compréhension de la nappe salée sont autorisés sur le ban communal de HILSPRICH.

- **Dans les zones à aléa très fort, fort et moyen**

Compte tenu des conséquences des désordres sur les bâtis, la prescription est l'interdiction de tous travaux de construction et d'aménagement sur les biens existants et pour du neuf. Les incidences financières notamment ne peuvent être acceptées sans garantie de stabilité et de pérennité.

Les exceptions concernent :

- des projets nécessaires à des mises aux normes, sur des constructions existantes ;
- des reconstructions après sinistre non lié à l'affaissement, objet du PPRNmt. Ces deux types de projets ne sont admis que s'ils relèvent des types de construction étudiés par le CSTB ou s'ils ont fait l'objet d'une étude de conception.
- les adaptations mineures de confort et d'esthétique du bien, sans augmentation de sa densité ni extension au sol de la surface habitable.

- **En zone à aléa faible**

Bien que le risque mouvement de terrain n'y est aujourd'hui pas manifeste, il ne peut être totalement écarté. Ainsi, dans ce contexte particulier, et selon la typologie des nouveaux projets d'aménagement et construction, les annexes 1 – 2 et 3 sont à prendre en compte et s'appliquent.

- **Sur le reste du territoire non étudié**

La commune de HILSPRICH ne dispose plus de documents d'urbanisme, et le droit des sols est aujourd'hui réglementé par le Règlement National d'Urbanisme (RNU). Cette partie non investiguée du territoire communal, est actuellement non urbanisée. Selon le RNU, en règle générale les constructions localisées dans secteurs non urbanisés de la commune y sont interdites, avec toutefois des exceptions pour les constructions liées aux exploitations agricoles ou forestières et aux habitations liées et strictement nécessaires à ces activités.

En raison de la présence probable de sel dans le sous-sol de l'intégralité de la commune, et par mesure de prévention, la zone non étudiée de la commune sera traitée comme suit :

- pour les zones non étudiées, situées dans le prolongement de la zone de susceptibilité forte (le couloir de failles), le niveau d'aléa sera évalué a minima de niveau moyen (car on ne peut exclure des phénomènes de dissolution dans le futur). Les prescriptions de la zone jaune sont retenues pour prendre en compte le risque ;
- pour les zones non étudiées, situées à plus de 400 m de la zone de susceptibilité forte (en dehors du couloir de faille), l'aléa sera réputé de niveau faible, sachant qu'un niveau d'aléa faible pourra être réévalué ultérieurement si des informations nouvelles (sur la géologie, les déformations, les désordres, etc..) sont portées à la connaissance du BRGM. À ce jour, les prescriptions de la zone verte sont retenues pour prendre en compte le risque ;
- la zone investiguée est matérialisée par un polygone (trait) sur la carte d'aléa.