

INERISmag

N°37 AVRIL 2015

L'ACTUALITÉ SCIENTIFIQUE ET PRATIQUE
DE LA MAÎTRISE DES RISQUES

LES RISQUES DES CAVITÉS SOUTERRAINES : IDENTIFIER, PRÉVENIR, TRAITER

LA CARACTÉRISATION

DÉTECTER ET RECONNAÎTRE
UNE CAVITÉ

LE POTENTIEL

DIAGNOSTIQUER
POUR OPTIMISER LA RESSOURCE
OU VALORISER L'EXISTANT

LA PRÉSERVATION

METTRE EN SÉCURITÉ
ET SURVEILLER LES CAVITÉS,
ARCHIVER ET RESTITUER
L'INFORMATION...

INERIS

maîtriser le risque |
pour un développement durable |

SOMMAIRE

- P. 02** LES RISQUES DES CAVITÉS SOUTERRAINES : IDENTIFIER, PRÉVENIR, TRAITER
- P. 04** DÉTECTER ET RECONNAÎTRE UNE CAVITÉ
- P. 06** DIAGNOSTIQUER POUR OPTIMISER LA RESSOURCE OU VALORISER L'EXISTANT
- P. 07** METTRE EN SÉCURITÉ ET SURVEILLER LES CAVITÉS, ARCHIVER ET RESTITUER L'INFORMATION...

Carrière Parain à Saint-Maximin (Oise)

LES RISQUES DES CAVITÉS SOUTERRAINES : IDENTIFIER, PRÉVENIR, TRAITER

CHIFFRES CLÉ

- **500 000 cavités souterraines** reconnues à ce jour en France.
- **5 000 à 7 000 communes françaises** sont concernées par les risques liés aux cavités souterraines.

Dans le cadre de la prévention des risques liés aux effondrements de cavités souterraines, les équipes de l'INERIS apportent leur soutien technique aux différents acteurs concernés par cette problématique : industriels, exploitants, aménageurs mais aussi administrations et collectivités territoriales, pour caractériser l'état de ces cavités, diagnostiquer leur évolution et les sécuriser. Tour d'horizon des compétences et prestations assurées par l'Institut au travers de sa Direction des risques du sol et du sous-sol (DRS).

UN CYCLE DE VIE EN TROIS ÉTAPES

Ce dossier « Cavités souterraines » présente les compétences de l'INERIS dans ce domaine ainsi que l'appui et les solutions que l'Institut est en mesure d'apporter à l'État, aux collectivités et aménageurs du territoire (voire aux propriétaires fonciers privés) et aux industriels confrontés à ces risques. Organisé en trois chapitres, le dossier suit le cycle de vie d'une cavité souterraine, depuis sa conception ou sa découverte jusqu'aux phases d'exploitation, de post-exploitation, de valorisation – transformation et de sécurisation :

- **1^{re} étape – LA CARACTÉRISATION :**
DÉTECTER ET RECONNAÎTRE UNE CAVITÉ.
- **2^e étape – LE POTENTIEL :** OPTIMISER
UNE RESSOURCE OU VALORISER
L'EXISTANT.
- **3^e étape – LA PRÉSERVATION :**
METTRE EN SÉCURITÉ ET SURVEILLER
LES CAVITÉS, ARCHIVER ET RESTITUER
L'INFORMATION...



Carrière de craie
dans le Pas-de-Calais

On recense en France quelque 500 000 cavités souterraines reconnues à ce jour. Elles peuvent être d'origine naturelle (grotte, gouffre...) ou issues de l'activité humaine : carrières d'extraction de matériaux de construction (sable, calcaire, ardoise...) ou de minéraux (sel, gypse...), marnières (d'où l'on extrayait la marne pour amender les sols), habitats troglodytes, ouvrages militaires, etc. La répartition de ces cavités est assez diffuse dans notre pays, certaines régions étant cependant plus concernées de par leur géologie locale et l'intensité des activités extractives : l'Île-de-France, le Nord, la Picardie, la Normandie, le Bordelais...

Plan National Cavités

Cinq à sept mille communes sont ainsi concernées par les risques que ces cavités souterraines font peser sur la sécurité tant des personnes que des bâtiments et infrastructures situés en surface du sol. Les risques d'affaissement, voire d'effondrement de terrain, peuvent alors imposer de fortes contraintes d'aménagement, d'autant que l'on ne connaît pas toujours avec précision leur localisation.

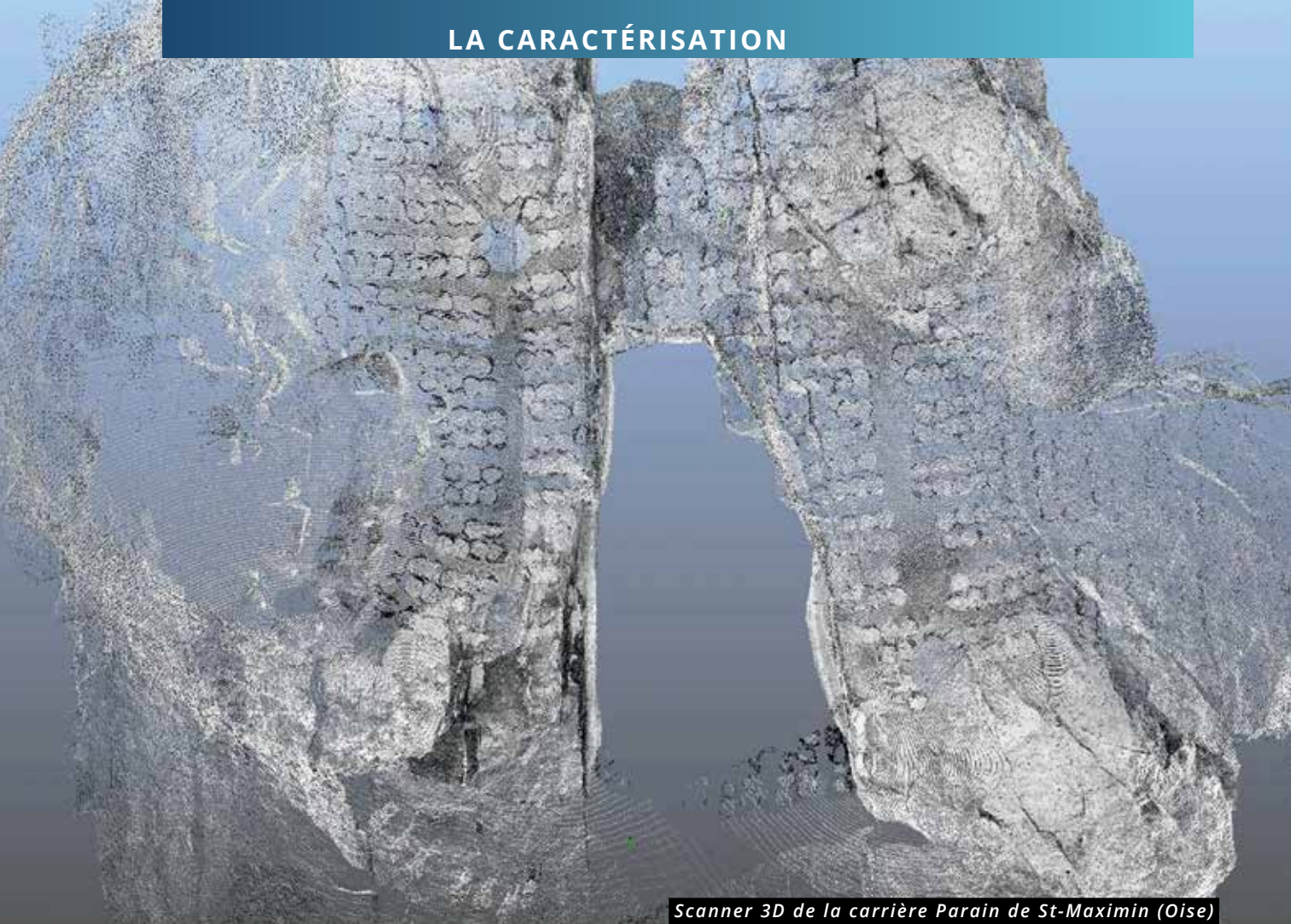
Conscients de la nécessité de structurer une politique de prévention dédiée au risque cavités souterraines, les pouvoirs publics ont élaboré et engagé en 2013 un Plan national pour la prévention des risques liés aux effondrements de cavités souterraines, plan élaboré et mis en place avec l'appui actif de l'INERIS.

L'INERIS met ses compétences au service de l'État et des collectivités locales

Au travers de sa Direction des risques du sol et du sous-sol (DRS), l'Institut réunit des compétences pluridisciplinaires : ingénieurs géologues, hydrogéologues, géotechniciens, géophysiciens, généralistes, modélisateurs, cartographes, spécialistes des phénomènes de transfert... Ces spécialistes de l'INERIS ont un long savoir-faire en matière d'industries extractives (mines et carrières), de gestion de l'après-mine (sécurité des personnes et des biens, protection de l'environnement), de gestion des risques naturels de type mouvements de terrain (cavités naturelles, falaises, anciennes carrières, stabilité des fronts rocheux, sécheresse des sols...), des activités de stockage géologique (stockage de gaz à effet de serre, d'hydrocarbures, de déchets, etc.).

Les spécialistes de l'INERIS ont un long savoir-faire pluridisciplinaire

Les missions historiques de la DRS sont le diagnostic du risque d'instabilité et l'aide à la gestion et la surveillance des zones à risques. L'Institut s'appuie pour cela sur une expérience largement reconnue, de par son héritage du Centre de Recherche de Charbonnages de France (CERCHAR), ses travaux de recherche, sa participation à de nombreuses instances nationales et internationales ainsi que ses multiples partenariats avec des universités et des établissements de recherche : Écoles des Mines et École de Géologie de Nancy, École des Mines ParisTech, BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières), Cerema (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement), Ifsttar (Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux), Institut Central des mines de Pologne (GIG – Glowny Instytut Gornictwa), ISSeP (Institut Scientifique de Service Public de Wallonie)...



Scanner 3D de la carrière Parain de St-Maximin (Oise)

DÉTECTER ET RECONNAÎTRE UNE CAVITÉ

Que la cavité soit anthropique ou naturelle, il convient d'abord de reconnaître sa profondeur dans le sous-sol, son extension et sa position par rapport à la surface du sol. L'INERIS dispose de l'expérience et des moyens pour mesurer et cartographier avec précision les développements souterrains des cavités afin d'étudier ensuite la stabilité et prévoir le comportement à long terme.

LOCALISATION PAR LE SYSTÈME UGPS

L'INERIS a développé, en partenariat avec la société suisse Infrsurvey, le système UGPS (UnderGround Positioning System), un outil de localisation rapide et précise de cavités accessibles. Basé sur la mesure de distance par ondes électromagnétiques, le système UGPS comprend une balise émettrice placée dans la cavité, une ou plusieurs balises réceptrices situées en surface et un ordinateur de traitement en temps réel. Il permet, depuis la surface du sol, de localiser une position ou une emprise souterraine

et d'en déterminer la profondeur. À une cinquantaine de mètres de profondeur, la précision d'un levé UGPS est inférieure à 1 m en positionnement, et inférieure à 3 m en levé d'emprise. Les applications sont multiples : implantation d'un sondage, localisation de zones souterraines à risques sous un projet de bâti ou de route, cartographie de mines et carrières, localisation de puits ou d'essors de crayères, vérification d'un géoréférencement de travaux souterrains, etc.

Avant de pouvoir évaluer les risques d'une cavité souterraine et d'être à même de proposer les mesures à prendre ou les solutions de maîtrise des risques, la première approche est de caractériser la cavité dans son état présent : localisation exacte et ampleur de la cavité, nature et comportement des roches, présence de fracturations, etc.

Des experts et leurs outils

« Selon que la cavité est naturelle ou d'origine humaine (anthropique), le processus de caractérisation diffère quelque peu » explique Xavier Daupley, responsable de l'unité Risques géotechniques liés à l'exploitation du sous-sol. « Si elle est anthropique (carrières souterraines, caves...), on commence par consulter les archives (éventuellement) existantes : cartes, plans, coupes, historique d'exploitation... Ensuite, lorsque l'accès est possible, nos experts inspectent le milieu souterrain pour y faire leurs observations et déployer des moyens de mesure ».

L'objectif est de dimensionner la ou les cavités et d'en cartographier l'état géotechnique, la nature et la structure des roches, leur état de dégradation, la présence de fracturations, et ce de façon la plus fine possible selon les enjeux. « Nous disposons pour cela de tout un savoir-faire acquis de longue date, ainsi que d'un panel d'outils de mesure habituels ou spécialement développés et adaptés par nos soins ».

Les experts de l'INERIS utilisent par exemple un scanner laser 3D (voir encadré ci-contre) pour obtenir la représentation géométrique détaillée de la cavité avec ses dimensions, son volume, la présence et la position des failles et des lignes de fracture.

L'objectif est de dimensionner la ou les cavités et d'en cartographier l'état de la façon la plus fine possible selon les enjeux

Un autre outil très précieux est l'UGPS (voir encadré en page de gauche), un système de positionnement souterrain qui, par mesures magnétiques, permet de localiser avec

grande précision la cavité par rapport à la surface du sol et d'effectuer le zonage lors de projets d'implantation de bâtis ou d'infrastructures.

Les résultats de ces mesures viennent compléter les informations d'archives et les observations visuelles des experts. « Toutes ces données sont ensuite intégrées dans un système d'information géographique (SIG) qui permettra d'aborder la phase de diagnostic avec une connaissance détaillée de l'existant ».

Les équipes de l'INERIS sont formées pour intervenir dans ces lieux éventuellement très fermés, étroits, où seuls les spécialistes habitués de ce type de milieux sont à même de se rendre pour faire ce travail de détection.



Scanner laser 3D

NUMÉRISATION DES CAVITÉS PAR SCANNER LASER 3D

L'INERIS utilise régulièrement cet outil de numérisation/visualisation 3D sans contact pour mesurer très précisément les dimensions et le volume de la cavité, suivre l'évolution des secteurs les plus critiques (montée de voûte, piliers dégradés...) et établir des plans 2D ou 3D des sites et des projets. Le principe est de balayer l'espace par un faisceau laser ; les millions de points récoltés (jusqu'à 1 million par seconde) sont alors traités par un logiciel de traitement de nuage de points. En général, une seule station de mesure suffit pour restituer la configuration d'une cavité simple, plusieurs stations pour un réseau de chambres et de galeries. La portée de l'instrument est de 330 m, sa précision est millimétrique, et le temps moyen de numérisation d'une cavité est de 2 à 5 minutes ; la durée du traitement des données acquises sur le terrain peut être, a contrario, assez longue en comparaison du temps de mesure.

Des forages peuvent être nécessaires

Lorsque les cavités ne sont pas accessibles ou sont trop dangereuses (entrée effondrée, atmosphère très dégradée...), on procède alors à des forages par lesquels sont ensuite passés des caméras et des dispositifs de mesure laser. Pour les cavités ennoyées, le forage permet alors d'y introduire des moyens de détection de type sonar pour effectuer les mesures géométriques ; les moyens et l'expérience acquis par l'INERIS dans l'étude des cavités compensent alors l'impossibilité d'observer visuellement les lieux.

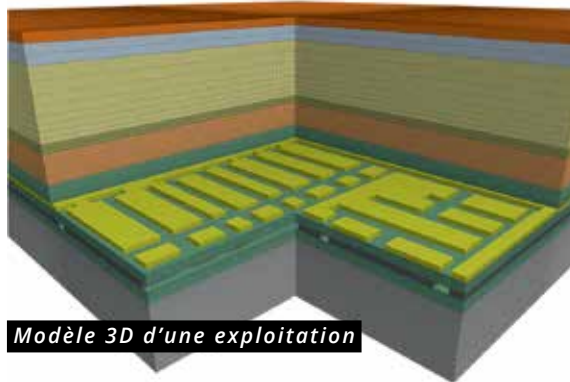
■ DIAGNOSTIQUER POUR OPTIMISER LA RESSOURCE OU VALORISER L'EXISTANT

La deuxième étape consiste à effectuer le diagnostic de la cavité. L'INERIS fait pour cela appel à ses compétences en géotechnique et en géophysique, mais aussi en modélisation, en optimisation, en auscultation...

Une fois que la cavité est complètement caractérisée, c'est-à-dire localisée, dimensionnée et analysée en détail, il s'agit d'en faire alors le diagnostic de l'état de stabilité selon le projet envisagé. Ce peut être son exploitation (nouvelle ou d'extension), sa valorisation par transformation ou encore son abandon pur et simple. Comme l'explique Jean-Claude Pinte, délégué aux prestations à la DRS : « Dans tous les cas, l'objectif est de déterminer comment réunir les conditions optimales de sécurité, aussi bien dans le sous-sol qu'en surface du sol, en tenant compte de toutes les interactions possibles pouvant conduire à modifier ou aggraver les risques : mouvements et évolution des terrains, phénomènes hydrogéologiques ou de vieillissement des roches, effondrement des cavités et des terrains de recouvrement... ».

Optimiser et sécuriser l'exploitation des sites

Si le projet est d'exploiter le site (en carrière par exemple), il conviendra alors de dimensionner de manière optimale les galeries de circulation et chambres d'exploitation en fonction de la résistance des roches (propriété mécanique liée à la dureté et l'homogénéité d'une roche), des discontinuités... Pour réaliser ce diagnostic, les équipes de l'INERIS utilisent les résultats des reconnaissances réalisées *in situ* (observations, sondages et essais) et de la caractérisation des roches en



Modèle 3D d'une exploitation

laboratoire. « Les données sont ensuite intégrées dans un des modèles géomécaniques très pointus dont dispose l'INERIS, pour optimiser les paramètres d'exploitation : largeurs des galeries, dimension des chambres d'exploitation, renforcements à apporter... ». En cours d'exploitation, les dimensionnements issus de l'étude sont suivis par des dispositifs d'auscultation géotechnique (déplacements/convergence, contraintes...) en champ proche mais aussi parfois par des techniques d'auscultation géophysique comme la microsismique (on écoute finement la roche craquer)... en champ proche et éloigné.

Les études et diagnostics de l'INERIS permettent de sécuriser ces lieux destinés à recevoir du public et d'estimer les coûts des travaux à réaliser.

ESSOR DE L'EXPLOITATION SOUTERRAINE

Contrairement à ce que l'on pourrait croire, le nombre de sites d'exploitation souterraine, après avoir beaucoup diminué au siècle dernier, se développe à nouveau dans notre pays. En France, les mines de charbon et de fer appartiennent au passé. L'extraction est portée par les besoins en matériaux pour la construction (gypse, pierre à ciment, pierre de taille...), et par certains minerais (sel, fluorine, bauxite...). De plus, les perspectives de stockage de gaz naturels, de pétrole, d'énergie (air comprimé, hydrogène), voire de déchets, font accroître la demande. Une part de ce renouveau est liée aux impacts sur l'environnement (visuel, sonore, faune, flore...), qui poussent à abandonner l'exploitation à ciel ouvert ou à flanc de colline au profit du souterrain.

Valorisation par transformation

Une cavité peut aussi être valorisée en site d'activité industrielle ou touristique : caves et stockages, musées souterrains, thermes (à Jonzac par exemple), restaurants, hôtels... Les études et diagnostics de l'INERIS permettent de sécuriser ces lieux destinés à recevoir du public et d'estimer les coûts des travaux à réaliser. De fait, « les missions de la DRS sont d'apporter l'aide technique nécessaire aux aménageurs (infrastructures), exploitants (carrières, mines, stockages), promoteurs immobiliers... à différentes étapes de leurs projets (études, assistance maîtrise d'ouvrage, voire maîtrise d'œuvre) ». L'INERIS mène également des travaux de recherche en collaboration avec des industriels pour améliorer l'exploitation d'un gisement ; ces recherches peuvent impliquer de nombreux domaines connexes à la géologie et à la géotechnique comme la géochimie mais aussi intégrer des contraintes environnementales, H.S.E., organisationnelles, économiques...



Carrière de gypse de Grozon (Jura)

METTRE EN SÉCURITÉ ET SURVEILLER LES CAVITÉS

ARCHIVER ET RESTITUER L'INFORMATION

Naturelles ou anthropiques, exploitées, transformées ou abandonnées, les cavités évoluent et doivent donc être gérées, mises en sécurité et étroitement surveillées. Diverses techniques existent.

Les risques générés par une cavité peuvent s'aggraver au fil du temps en fonction de nombreux facteurs : altération des roches, fissuration, dissolution, etc. et mettre en péril la sécurité des personnes et les installations non seulement souterraines mais aussi celles établies en surface. Les enjeux liés à l'urbanisation croissante ont conduit le ministère chargé de l'écologie à instaurer, avec l'appui de l'INERIS, le Plan national pour la prévention des risques liés aux effondrements de cavités souterraines.

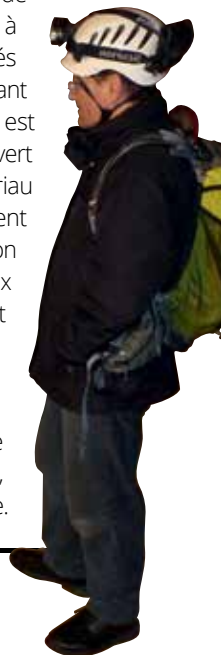
Suivi automatique par mesures acoustiques

L'une des missions de l'INERIS est d'apporter aux gestionnaires ou propriétaires des sites souterrains son expertise et ses moyens techniques pour suivre et surveiller l'évolution des cavités. « Nous effectuons des visites régulières *in situ* afin d'y constater les changements : chutes de toit, montées de voûte, détérioration ou effondrement des piliers... Nos équipes disposent également, pour les cavités abandonnées, de systèmes de suivi automatisés (acoustique, mesures de convergences...) pour détecter la chute de blocs rocheux et enregistrer leur fréquence, ce qui permet d'alerter les autorités, le public et les parties prenantes lorsque la dégradation d'un site devient menaçante » explique Jean-Marc Watelet, référent technique cavités de l'INERIS. Ces mesures de surveillance sont traitées, intégrées et archivées dans la plateforme e.cenaris (Centre National

de surveillance des Risques du Sol et du sous-sol à Nancy, voir page suivante).

Conforter ou supprimer la cavité

Si les enjeux en surface sont importants ou lorsqu'il est prévu d'aménager le site, l'INERIS peut proposer des solutions visant à prévenir tout risque d'effondrement par la suppression pure et simple de la cavité, ou, s'il y a un intérêt à la conserver, par son confortement (par exemple en renforçant les piliers et le toit). Diverses techniques existent selon le degré de sécurité nécessaire et les contraintes technico-économiques. La sécurisation la plus sûre pour les terrains de surface, mais aussi la plus coûteuse, consiste à combler le vide par des matériaux appropriés (béton, sable, voire matériaux inertes) en évitant toute conséquence sur l'environnement. S'il est envisagé d'aménager uniquement un espace vert ou un parking, un comblement par du matériau usuel (additionné de liant) ou un renforcement par géosynthétiques peut constituer une solution alternative pertinente. En l'absence totale d'enjeu en surface du sol, ce type de traitement n'est pas indispensable. Le recours à une surveillance de la cavité demeure néanmoins incontournable. En zone rurale, il est parfois possible de foudroyer la cavité, c'est à dire de la détruire puis de terrasser les terrains de recouvrement, afin de restituer la surface à un usage agricole.





À PROPOS DE L'INERIS

Créé en 1990, l'INERIS, Institut national de l'environnement industriel et des risques, est un établissement public à caractère industriel et commercial, placé sous la tutelle du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie.

INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES

Parc Technologique Alata
BP2 - 60550 Verneuil-en-Halatte
Tél. + 33 (3) 44 55 66 77
Fax + 33 (3) 44 55 66 99
Mail ineris@ineris.fr

WWW.INERIS.FR

ABONNEZ-VOUS
AU WEBZINE SUR
WWW.INERISMAG.NET

 : @INERIS_FR

Conception et réalisation :
Corporate Fiction
Rédaction : Louis-Antoine Mallen

Crédits photos :
- Photos/INERIS
- INERIS, Michel Chantrelle

E.CENARIS : INFRASTRUCTURE DÉDIÉE À LA SURVEILLANCE

DES RISQUES DU SOL ET DU SOUS-SOL

Géré par l'INERIS, « e.cenaris » est une infrastructure numérique d'observation et de surveillance pour la gestion et la prévention des risques de mouvements de terrains et, de façon plus générale, des risques géotechniques et géologiques associés aux géosystèmes et ouvrages d'art en surface, en souterrain et dans le sous-sol profond.

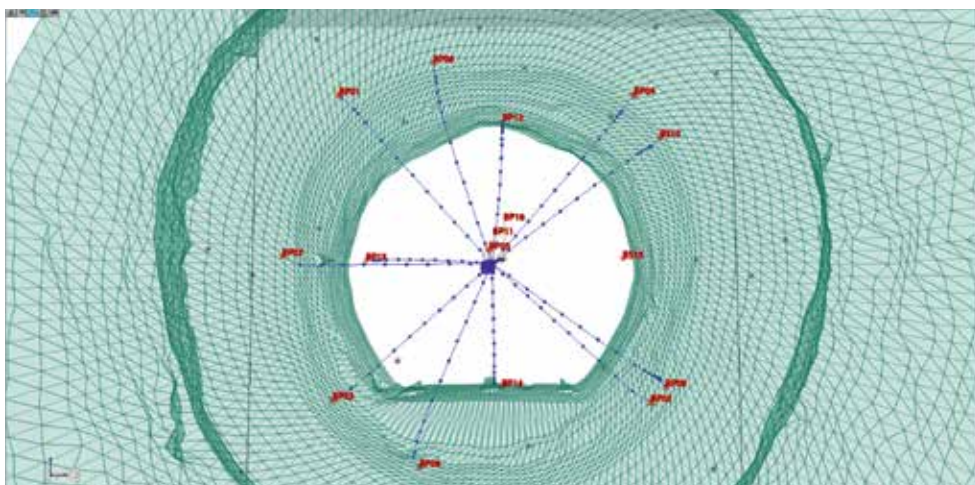
Consultable en ligne, e.cenaris est destiné aux organismes et laboratoires de recherche, aux industriels, aux collectivités et aux bureaux d'études en vue de :

- concevoir et mettre en œuvre des projets nouveaux de recherche ou de surveillance opérationnelle,
- faire évoluer et optimiser des dispositifs et projets existants,
- mobiliser en situation d'urgence des systèmes de télésurveillance.

e.cenaris permet de consulter l'historique et le suivi en quasi temps réel de nombreux projets opérationnels et de recherche, en France et à l'étranger.

POUR EN SAVOIR +

cenaris.ineris.fr



Contrôle de performance d'ouvrage par surveillance ultrasonique active et passive



INERIS MAG, webzine et newsletter

Restez connectés aux nouveautés INERIS !
Dossiers thématiques, interviews, actualités et agenda des prochains rendez-vous directement dans votre boîte mail. www.inerismag.net.