

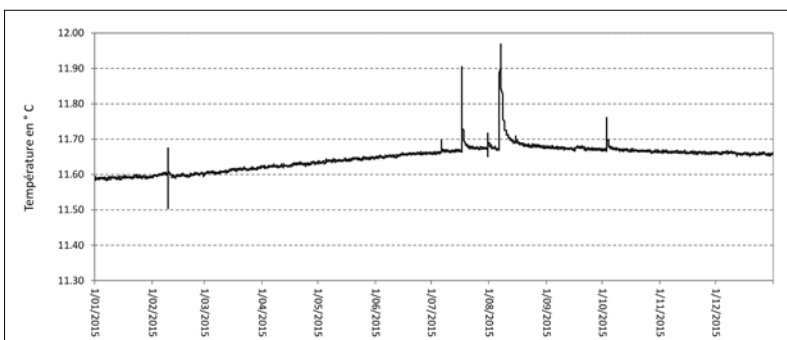
- GOSSELIN F., 1986. Un site d'exploitation du silex à Spiennes (Hainaut), au lieu-dit « Petit-Spiennes », *Vie archéologique*, 22, p. 33-160.
- LAVACHERY P., COLLET H., TOUSSAINT M. & WOODBURY M., 2015. Mons/Spiennes : fouille du puits d'extraction ST 6 à « Petit-Spiennes », *Chronique de l'Archéologie wallonne*, 23, p. 88-90.
- LEBLOIS É., 2000. Bilan de cent cinquante années de découvertes archéologiques à Baudour. Première partie : fouilles, découvertes fortuites et prospections, *Annales du Cercle d'Histoire et d'Archéologie de Saint-Ghislain et de la Région*, 8, p. 127-242.
- TOUSSAINT M., COLLET H. & JADIN I., 2010. Datations radiocarbones d'ossements humains du site minier néolithique de Spiennes (Mons, Hainaut). Première approche, *Notae Praehistoricae*, 30, p. 73-80.
- VAN ASSCHE M. & DUFRASNES J., 2001. Sirault (Ht). Les occupations préhistorique et gallo-romaine à la chapelle Notre-Dame de la Délivrance, *Vie archéologique*, 55-56, p. 5-25.

Mons/Spiennes : conservation préventive des minières néolithiques en 2015

Nancy VERSTRAELEN

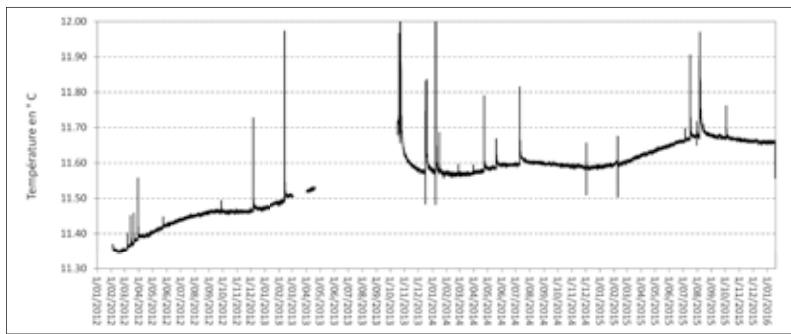
Le site du « Camp-à-Cayaux »

L'épaisse couche de craie qui protège la minière du « Camp-à-Cayaux », sa profondeur et son volume significatif, en association avec la présence d'une superstructure construite au droit du puits d'accès, permettent de limiter les transferts d'énergie et les échanges avec le milieu extérieur. La température interne est essentiellement influencée par la température de la roche encaissante, le climat extérieur global, la température et l'origine des eaux souterraines. Ces particularités de la configuration du site (renouvellement d'air limité) contribuent à l'équilibre hygrothermique de cette cavité et limitent les oscillations thermo-hygrométriques.



Graphique illustrant la température de la minière du « Camp-à-Cayaux » en 2015.

Les concentrations en radon, gaz radioactif, y sont également élevées (plus de 20 000 Bq/m³) et confirment la stabilité aérologique de la cavité, les taux étant étroitement liés au renouvellement de l'atmosphère de la minière. En parallèle, les concentrations en CO₂ sont également importantes. La qualité insuffisante de l'air nécessite la mise en place d'un ventilateur qui doit impérativement être mis en marche quelques heures avant la descente des visiteurs occasionnels, afin de leur fournir une atmosphère saine. En 2015, les données issues de la sonde *Mini Troll* installée par Luc Funcken (DGO1, Direction de la Géotechnique) sont complètes. La moyenne annuelle s'élève à 11,65° C avec un minimum de 11,58° C et un maximum de 11,69° C. L'amplitude annuelle est de 0,11° C. En 2014, la moyenne s'élève à 11,59° C. On note l'existence de six perturbations majeures tout au long de l'année liées à des interventions humaines (vidange des données, descentes). Les perturbations enregistrées les 17 juillet et 7 août résultent de la mise en marche de la ventilation forcée préalablement à une descente. En regard des températures extérieures importantes (31° C max.) le 17 juillet notamment, l'augmentation thermique constatée au sein du site est de faible amplitude et se situe autour de 0,3° C. Un constat similaire est observé le 7 août. En réalité, lorsqu'une masse d'air extérieure (conditions thermo-hygrométriques spécifiques) pénètre dans un espace souterrain dont les conditions d'ambiance sont différentes, des échanges d'énergie se mettent en place entre l'air insufflé formant ventilation et la cavité (atmosphère et parois) selon une courbe exponentielle. Les perturbations sont proportionnelles au temps d'ouverture du puits : plus ce dernier est long, plus les modifications thermiques sont significatives. On constate également que le temps de récupération est beaucoup plus long que ce qui avait pu être observé précédemment. Ce phénomène est en étroite relation avec les modifications structurelles apportées qui augmentent le confinement de la cavité. Conformément aux années précédentes, une légère variation annuelle cyclique en relation avec l'onde climatique extérieure caractérisée par un réchauffement thermique estival et un refroidissement hivernal est observé, son intensité se situe autour de quelques dixièmes de degrés. L'analyse des données révèle la persistance d'un gradient thermique dont l'amplitude s'amenuise dans le second semestre de l'année 2015. Le recul et les informations disponibles demeurent insuffisants pour permettre de préciser l'origine exacte de cet échauffement. Il peut s'agir d'une mise en équilibre climatique de la cavité suite aux interventions menées ou d'une



Graphique illustrant l'évolution de la température de la mine du « Camp-à-Cayaux » entre 2012 et 2015.

répercussion du réchauffement climatique extérieur. Une combinaison de ces deux facteurs est tout à fait envisageable. Il apparaît qu'un réchauffement similaire est observé à « Petit-Spiennes ». En parallèle, une augmentation de la température de l'aquifère local est observée depuis 2004 mais l'amorce d'une légère stabilisation se dessine dans le second semestre de l'année 2015. Ces différents constats semblent orienter l'explication de l'origine de ces modifications vers un bouleversement du contexte environnemental en relation avec le réchauffement climatique global. L'état de l'ensemble des structures est satisfaisant.

Le site de « Petit-Spiennes »

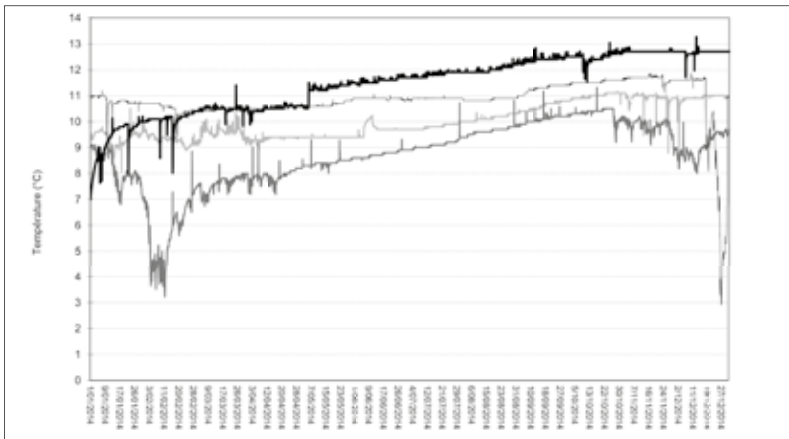
L'épaisseur et la nature des dépôts archéologiques et géologiques présents au-dessus et en dessous des minières contribuent aux conditions internes thermo-hygrométriques, chimiques, gazeuses et aérodynamiques. L'épaisse couche en surface constitue une interface hétérogène et fracturée entre le milieu confiné et l'extérieur, siège de nombreux phénomènes dynamiques, d'infiltrations pluviales et d'air notamment mais pas uniquement. Ces réseaux complexes offrent des propriétés de régulation des flux de matières et d'énergie et participent à l'installation d'un microclimat spécifique. C'est le milieu rocheux qui offre un substrat thermique, physique, chimique et hydrique particulier mais généralement stable. Les perturbations mises en avant résultent pour l'essentiel de phénomènes de surface ou anthropiques.

Le faible développement des minières de « Petit-Spiennes » est un élément défavorable à la stabilité des paramètres, de même que leur faible profondeur. Les ouvertures constituent des interfaces actives et dans ce cas précis, elles représentent une zone de déséquilibre où les gradients thermiques sont importants, favorisant ainsi les processus d'altération. En surface, d'importantes modifications sont apportées au contexte environnemental général des minières dans le cadre de leur mise en valeur. Le remplacement des bouchons des

puits d'accès, la construction de l'espace muséal et la couverture par une dalle de béton de la portion située à l'extérieur ont contribué à modifier la dynamique climatique du site souterrain tout en imposant aux vestiges laissés visibles en surface de nouvelles conditions de conservation. Ces aménagements ont fortement limité les échanges avec l'extérieur. Les circulations d'air ne sont théoriquement uniquement possibles que lorsque la température de l'espace muséal est inférieure à la température

de la mine. Il n'y a donc en été aucune aération naturelle possible, un ventilateur est donc installé. La ventilation naturelle permettait initialement de limiter à des valeurs acceptables les taux de radon et de CO₂. Depuis les différents aménagements, les concentrations de ces deux gaz nocifs ont considérablement évolué, nécessitant non seulement une surveillance continue à des fins sanitaires notamment mais aussi des moyens mécaniques pour les limiter afin de permettre l'accès au public. Les craintes formulées par rapport au fonctionnement du ventilateur et à l'introduction d'air non remanié dans la mine peuvent être nuancées. Le passage dans les puits d'accès de la mine génère un amortissement et une modification des caractéristiques physiques de l'air insufflé si le débit est limité. Il convient toutefois de rester prudent car le vent favorise les phénomènes d'évaporation qui peuvent entraîner des tensions superficielles au sein des parois déjà fragilisées. Les mouvements répétés de dilatation et de rétraction des matériaux sont altératifs. Par ailleurs, lorsque que la température est supérieure à la température de la paroi, des phénomènes de condensation et de ruissellement sont à craindre dans les zones concernées.

À « Petit-Spiennes », la moyenne annuelle en 2015 est de 11,46° C contre 10,83° C en 2014 et 10,01° C en 2013 tandis que le minimum et le maximum thermiques sont respectivement de 7° C et de 13,26° C (contre 2,9° C et 12,1° C en 2014) pour une étendue de 8,9° C. Ces valeurs sont tributaires de l'emplacement de l'appareil de mesure qui est positionné dans une zone légèrement confinée. Les résultats qui sont mesurés à proximité du puits d'accès sont beaucoup plus contrastés et révèlent notamment une moyenne annuelle supérieure. Les modifications climatiques sont essentiellement anthropiques et liées à l'accessibilité et à l'ouverture du site au public. Les pics positifs et négatifs enregistrés sur le graphe sont systématiquement en relation avec l'ouverture de la trappe, le fonctionnement du ventilateur et la présence de visiteurs. Les profils enregistrés dans le fond de la mine



Graphique illustrant la température de la minière de « Petit-Spiennes » à l'entrée du puits entre 2012 et 2015.

sont similaires à ceux consignés au niveau du puits d'accès excepté une atténuation de l'amplitude des perturbations climatiques mises en évidence. L'inertie thermodynamique de cet appendice est supérieure aux espaces proches de l'entrée du puits.

L'augmentation annuelle de la température de la minière est corrélée à la fréquentation touristique. La courbe révèle en parallèle une rupture de pente qui peut, au regard des études qui sont menées sur d'autres sites (grottes de Gargas et de Marsoulas), être considérée comme le seuil au-delà duquel les mécanismes d'autorégulation déviennent insuffisants. L'énergie apportée par les visiteurs n'est plus absorbée par l'inertie du volume rocheux. Cette rupture se situe approximativement à la jonction des mois de mai et de juin. Si on note peu de différences au niveau de la fréquentation touristique mensuelle, on constate une répartition des visites différente. En mai, elles sont plus espacées, permettant au site de réguler et de dissiper plus facilement l'échauffement thermique lié à son occupation, ce qui ne sera plus le cas par la suite. Les répercussions des visites dépendent de plusieurs facteurs dont la période à laquelle elles se déroulent, les conditions climatiques du sas et de l'espace muséal notamment. Les mois d'été sont les plus critiques au niveau des répercussions thermiques en raison du cumul de plusieurs phénomènes physiques dont l'apport calorifique des visiteurs et l'échauffement thermique quotidien du sas et donc de l'air du puits (par convection). Durant le mois de mai, lorsque l'augmentation thermique quotidienne est inférieure à $0,5^{\circ}\text{C}$, le retour à la normale est rapide et sans incidence sur la température ambiante. Par contre, lorsque l'échauffement est supérieur, on observe une température résiduelle qui varie généralement de $0,1$ à $0,2^{\circ}\text{C}$. Ces conditions se rencontrent globalement lorsque le groupe est supérieur à dix visiteurs. L'énergie apportée ne peut être totalement dissipée et cet apport résiduel contribue à l'augmentation graduelle de la

température jusqu'à la fin de la saison touristique. À partir du mois de juin et durant les mois d'été suivants, on observe des variations thermiques quotidiennes récurrentes (échauffement diurne) dont l'intensité varie en fonction du climat extérieur, de l'insolation du sas d'accès et des conditions spécifiques qui y règnent. Ces variations quotidiennes sont caractéristiques des mois chauds, ce phénomène est inexistant pendant l'hiver. La zone du puits d'accès est très impactée par ces variations quotidiennes, il s'agit d'une interface active de la cavité qui génère des transferts d'énergie vers les zones plus confinées et reculées. La période d'inaccessibilité hivernale permet néanmoins d'éliminer cet énergie cumulée et de restaurer une température ambiante proche des valeurs initialement rencontrées.

Le volume rocheux des cavités souterraines amortit partiellement les variations des entrées par son inertie thermique, cette autorégulation naturelle contribue à la stabilisation des paramètres ambiants climatiques, physiques et chimiques et donc à la préservation du milieu. Cet équilibre complexe peut rapidement s'altérer suite à d'infimes modifications consécutives aux aménagements, à l'occupation et à l'utilisation des lieux.

Si les conditions environnementales globales de la minière et des espaces muséaux influencent les répercussions des visites sur le site, d'autres paramètres entrent également en ligne de compte : le nombre de visiteurs, de visites journalières, leur durée, l'intervalle entre deux descentes... Un lien de cause à effet peut très clairement être établi entre ces différents paramètres mais le rapport n'est ni constant, ni directement proportionnel.

L'essentiel des problématiques conservatoires concerne les phénomènes d'assèchement, d'évaporation de l'eau, de condensation, de développements biologiques et d'instabilité des parois crayeuses. Lorsque la température ambiante est supérieure à la température de la paroi, les zones caractérisées par une humidité relative proche de la saturation voient un risque accru de phénomènes de condensation, particulièrement les zones confinées. Plus l'écart de température est important et plus les risques sont significatifs. La paroi constitue alors une interface active où la formation de gouttelettes va se généraliser. Elles vont devenir coalescentes et induire des ruissellements qui constituent des zones favorables aux développements biologiques invasifs et aux moisissures.

Il paraît difficile de définir le régime d'équilibre des minières, c'est-à-dire le seuil au-delà duquel les mécanismes d'autorégulation deviennent inefficaces.

La présence de visiteurs s'ajoute aux nombreuses modifications consécutives aux divers aménagements opérés. Dans l'absolu, l'occupation ne devrait pas dépasser dix à douze personnes maximum. Au-delà de ce quota, l'énergie accumulée n'est pas totalement évacuée sans compter que l'exiguïté des lieux risque d'engendrer d'autres détériorations par frottement et piétinement. Outre le fait de limiter le nombre de visiteurs, il est important de respecter un délai suffisant entre les visites afin que l'énergie apportée lors de la première descente puisse être évacuée avant l'arrivée du second groupe et ce afin d'éviter les effets cumulatifs thermiques.

Parallèlement aux modifications thermiques, on observe ponctuellement des chutes de craie problématiques car révélatrices d'une certaine instabilité des parois ainsi que des développements biologiques limités de type lichens et mousses/algues à proximité des points lumineux. Les salissures sont localisées dans leur rayon d'incidence direct et seul un des trois foyers est lié à la modification et à l'intensification de l'éclairage. Ces derniers ont été éradiqués mécaniquement au scalpel. En parallèle, les milieux confinés recèlent une quantité importante de bactéries et de spores qui, s'ils rencontrent des conditions d'ambiance appropriées, sont susceptibles de trouver un terrain favorable à leur développement. C'est principalement en ce sens mais aussi en ce qui concerne les phénomènes de condensation et de ruissellement que les modifications climatiques des minières risquent d'être problématiques.

