



HAL
open science

**Archéodrone. Mission en Afrique du Sud. Sites de
Kromdraai et Sterkfontein. 25 juin au 4 juillet 2012.
Rapport**

Nicolas Poirier

► **To cite this version:**

Nicolas Poirier. Archéodrone. Mission en Afrique du Sud. Sites de Kromdraai et Sterkfontein. 25 juin au 4 juillet 2012. Rapport. TRACES UMR 5608. 2012. hal-04269860

HAL Id: hal-04269860

<https://hal.science/hal-04269860v1>

Submitted on 3 Nov 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

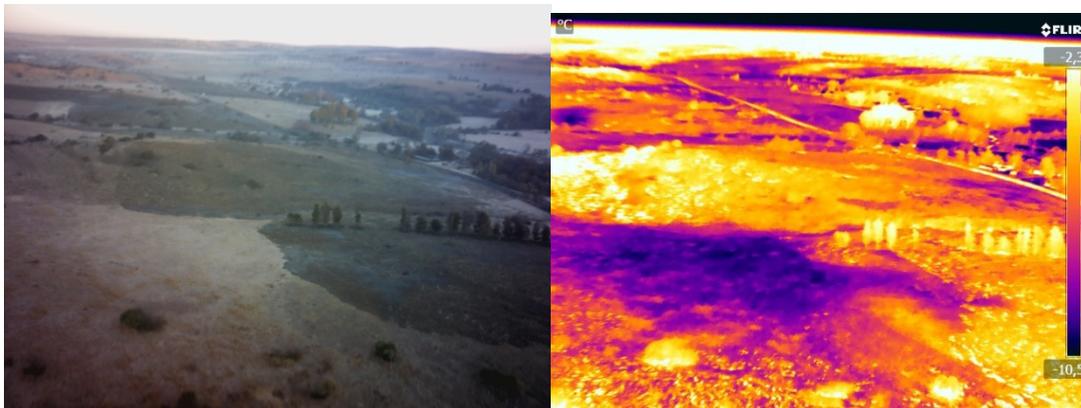
Archéodrone

Mission en Afrique du Sud Sites de Kromdraai et Sterkfontein

25 juin au 4 juillet 2012

Rapport

1. prospection infrarouge thermique aérien par drone



Nicolas Poirier

UMR 5608 TRACES, équipe Terrae

Contexte d'intervention

L'utilisation de la prospection thermique aéroportée à basse altitude par drone sur les réseaux karstiques d'Afrique du Sud (sites de Kromdraai et Sterkfontein) a été envisagée dans le but d'utiliser le potentiel de cette technique pour la détection d'entrées de cavités permettant une meilleure connaissance des réseaux souterrains, de leur connexion et de leur étendue. En effet, les vues thermiques aériennes permettent d'identifier des points chauds ou froids (par rapport à la température de surface du sol) pouvant correspondre à des résurgences d'air souterrain dont la température est assez stable et connue. Ces résurgences témoignent de la présence de salles souterraines pouvant être en connexion avec des réseaux karstiques plus vastes.

Les sites de Kromdraai et Sterkfontein sont connus pour avoir livré les fossiles de primates pré-humains parmi les plus anciens (*Australopithecus Africanus* notamment), ce qui a valu à cette région le statut de "berceau de l'humanité" et un classement à ce titre au patrimoine mondial de l'UNESCO. Ainsi, une connaissance plus précise de l'extension et de l'organisation des réseaux karstiques de cette région est indispensable pour une mise en contexte des fossiles découverts, pour une meilleure compréhension des processus de formation stratigraphique des sédiments qui les contiennent, et de là, la possibilité de découvrir d'autres spécimens.

Procédure d'intervention

Les prospections thermiques par drone ont été effectuées essentiellement le matin, au moment du lever de soleil, afin de bénéficier d'un écart maximal entre la température de surface du sol (gelé jusqu'à -10°C en cette saison hivernale) et la température de l'air souterrain (stable toute l'année autour d'une quinzaine de degrés Celsius).

Pour la plupart, les vols ont été effectués à 100m d'altitude, selon des plans de vols programmés en amont de manière à obtenir un maillage régulier des zones à prospector. Les points de prise d'image étaient alors espacés de 30m les uns des autres, permettant en théorie un bon recouvrement entre les clichés successifs et limitant les zones non couvertes entre eux. Nous verrons toutefois que le résultat n'a pas toujours été satisfaisant sur ce point, du fait de l'inclinaison fréquente de la caméra. Un vol "libre", sans plan de vol préalable, a été réalisé au-dessus du site de Sterkfontein à plus basse altitude (50 m).

Les anomalies thermiques observées sur les clichés aériens ont ensuite été contrôlés au sol par des mesures prises avec la caméra thermique en main, ainsi qu'à l'intérieur des salles souterraines (cf. partie du rapport sur les mesures thermiques au sol et en sous-sol).

Aléas d'une mission sur le terrain...

Tous les vols programmés n'ont pu être effectués. Le drone octorotor a été défaillant dès le premier jour d'intervention. L'appareil a du subir des chocs pendant le transport (manipulation en zone de fret, pendant le passage en soute, au déchargement, etc..) qui ont

occasionné un point de faiblesse invisible au niveau des fixations moteur sur une des huit branches. Au cours d'un des premiers vols, une cassure nette s'est produite à cet endroit, nécessitant un atterrissage d'urgence. Des réparations de fortune ont été réalisées, consistant essentiellement en la pose d'"attelles" au bras défectueux, en utilisant ruban adhésif, manche de brosse à dent, etc... Tant bien que mal, plusieurs vols ont pu être ensuite réalisés, centrés prioritairement sur et autour des sites d'intérêt. Les réparations n'ont pas tenu plus de quelques minutes de vol. Finalement, le bras défectueux a été bien stabilisé, mais le moteur qu'il portait a été trop sollicité pour compenser le désaxage probable lié aux réparations. Ce moteur a eu tendance à surchauffer régulièrement et à se mettre en sécurité, entraînant des atterrissages d'urgence de plus en plus fréquents. Il n'a plus été possible de faire décoller le drone à partir du samedi 30 juin, à 3 jours de la fin de la mission. Mais l'essentiel des zones visées ont pu être couvertes par la prospection thermique.

Procédure de traitement des données acquises

Plusieurs dizaines de clichés thermiques aériens ont été acquis au cours de ces vols au-dessus des deux sites de Kromdraai et Sterkfontein. Pour une bonne compréhension de l'image thermique de ces sites et de leur environnement, on ne pouvait pas se limiter à une analyse individuelle des clichés, mais chercher à les comparer les uns aux autres et à les replacer dans leur contexte. Cela était également utile pour localiser précisément les anomalies observées et le croisement avec d'autres données (photo aérienne classique par exemple). Une procédure spécifique a été mise en place dans cet objectif :

- a) Normalisation des échelles de température : Chaque vol compte une vingtaine de clichés pris dans un intervalle d'environ cinq minutes, présentant donc des conditions homogènes de température au sol et d'ensoleillement. Il a donc été décidé de fixer pour chaque image les températures minimale et maximale représentées en adoptant les températures minimales et maximales relevées sur l'ensemble du vol. Ainsi, tous les clichés d'un même vol présentent une gamme de couleur comparable d'un cliché à l'autre, puisque l'échelle de représentation est fixée par l'opérateur, et identique pour tous les clichés d'un même vol. Ceci doit faciliter l'assemblage automatique des clichés (cf. infra § c). Cette opération a été réalisée sous le logiciel FLIR Tools.
- b) Recadrage des clichés : Pour une utilisation des clichés au sein d'un SIG, ainsi que pour d'éventuelles tentatives d'assemblage des clichés entre eux, il a été nécessaire de recadrer toutes les images thermiques de manière à faire disparaître l'échelle de température, l'unité de mesure et le logo de la marque FLIR, systématiquement présents sur toutes les images. Ce recadrage a été opéré sous Adobe Photoshop.
- c) Tentative d'assemblage automatique des clichés thermiques : L'inconvénient des clichés thermiques à basse altitude (100m) est que peu de points topographiques remarquables (limites parcellaires, chemins, rochers, etc...) sont reconnaissables sur les clichés examinés individuellement. Il est donc difficile, fastidieux et hasardeux de chercher à les géoréférencer individuellement. Il est préférable de chercher à les assembler de manière à obtenir une image de plus grande étendue, présentant de ce fait plus de points remarquables utiles au géoréférencement. Ces tentatives d'assemblage automatique ont

été réalisées grâce à l'outil "Photomerge" d'Adobe Photoshop. Deux essais ont été concluants : ils concernent le vol effectué au-dessus du site de Kromdraai et le vol libre réalisé à 50m d'altitude au-dessus du site de Sterkfontein. Les assemblages ont été réalisés avec application des options de correction géométrique des clichés et de correction du vignetage. Si les autres tentatives n'ont pas été globalement satisfaisantes (ou marginalement, pour 2 ou 3 clichés successifs), c'est essentiellement à cause du faible recouvrement entre les clichés induits par l'inclinaison de la caméra au moment de la prise de mesure. Quand la caméra est bien verticale au moment des prises de vues, le recouvrement est alors suffisant entre les clichés successifs, et l'assemblage automatique est possible.

- d) Géoréférencement des clichés thermiques : Dans l'objectif d'un croisement des images thermiques obtenues avec d'autres sources (photographies aériennes classiques, plans des réseaux karstiques connus, etc...), les clichés thermiques ont été géoréférencés au sein du logiciel ArcGis. Ne disposant pas de données géographiques à haute résolution sur les secteurs survolés, nous avons utilisé le fond des images aériennes fournies au sein d'ArcGis (from Bing Maps). La résolution de ces images étant insuffisante pour replacer les clichés thermiques, il a fallu créer une couverture aérienne acquise à basse altitude et couvrant les deux sites survolés. Pour cela, nous avons tout d'abord utilisé les clichés visibles automatiquement enregistrés au même moment que chaque cliché thermique. Pour faciliter le géoréférencement de ces images, nous avons là aussi opéré un assemblage automatique, en utilisant non pas l'algorithme Photomerge d'Adobe Photoshop, mais plutôt le logiciel de photogrammétrie Photoscan qui permet, après avoir créé un modelé du terrain par corrélation dense sur les images visibles, de draper les images sur ce modelé et d'en extraire une orthophotographie. Nous avons également réalisé cette opération sur les couvertures aériennes en photographie classique réalisées sur les deux sites avec un appareil photo numérique de meilleure qualité que celui embarqué sur la caméra thermique, mais ne couvrant pas nécessairement les mêmes zones. Ces deux sources de photographies aériennes classiques prises par drone ont donc pu être recalées sur les images satellitaires mises à disposition par Bing Maps et ont ainsi constitué la base du géoréférencement des clichés thermiques, individuellement ou préalablement assemblés.

On peut ainsi avoir une vue d'ensemble de l'image thermique des deux sites étudiés et de leurs anomalies, avec toutefois quelques limites et précautions de lecture à prendre :

- en premier lieu, il ne faut bien entendu restituer cette vue générale que sur les clichés pris au cours d'un seul et même vol !
- ensuite, même si le tuilage des clichés d'un même vol est correct, la lecture de détail ne peut être faite que cliché par cliché : en effet, on constate que l'inclinaison de la caméra au moment de la prise de vue, ainsi que les effets de parallaxe de l'objectif ne permettent pas d'avoir une confiance absolue dans la qualité des mesures restituées sur les bords des clichés. Ceci explique également que l'assemblage des clichés thermiques n'ait pas toujours été possible.

Principaux résultats

Sur le site de Kromdraai

Tous les vols de prospection thermique sur et autour de Kromdraai ont été effectués en vols programmés (avec waypoints) à 100 m d'altitude. Trois vols réalisés le premier jour de mission concernent les abords sud du site. Il n'a pour l'instant pas été possible d'assembler et de géoréférencer ces vols. En effet, les images classiques prises au même moment que les clichés thermiques sont floues pour la plupart, du fait d'un comportement anormal du drone en vol caractérisé par un grand manque de stabilité. Ces images floues ne peuvent pas être utilisées pour une procédure d'assemblage automatisé, que ce soit sous Photomerge de Photoshop ou par corrélation dense sous Photoscan. De plus, le manque de recouvrement et de points de contrôle reconnaissable au sol (notamment du fait d'un manque de luminosité à cette heure matinale) empêche de géoréférencer individuellement ces clichés. On ne peut donc se fier qu'à la position relative de chaque cliché par rapport à la position du waypoint (point d'arrêt du drone) utilisé pour la prise de vue. Dans un premier temps, et faute de mieux, on est donc réduits à analyser individuellement les clichés. Ceux-ci n'ont révélé aucune anomalie thermique chaude suffisamment marquée pour indiquer la présence de résurgences souterraines. On a surtout affaire à des anomalies liées aux réchauffements de rochers au sol.

Seul le vol automatique réalisé dans de bien meilleures conditions au-dessus du site de Kromdraai, couplé aux couvertures photographiques aériennes classique à basse altitude a pu être assemblé et géoréférencé.

La prospection thermique aérienne au-dessus et aux alentours du site de Kromdraai appelle plusieurs constats préliminaires :

- les températures maximales mesurées (environ 7°C) sont rencontrées sur le site même de Kromdraai où sont actuellement réalisés des prélèvements fossilifères (Figure 1 : Prospection thermique sur le site de Kromdraai, spots 1 et 2), mais également un peu plus au sud-est de cette zone (spot 3) ainsi que 60 mètres au nord où d'autres entrées de cavités sont connues et ont été visitées en prospection thermique au sol (spot 4)
- ces points chauds se distinguent nettement des températures de surface moyennes généralement négatives
- ces points chauds ne peuvent être confondus avec les rochers affleurant qui, malgré leur forte rémanence thermique, n'atteignent jamais les températures maximales observées au sein des anomalies identifiées.

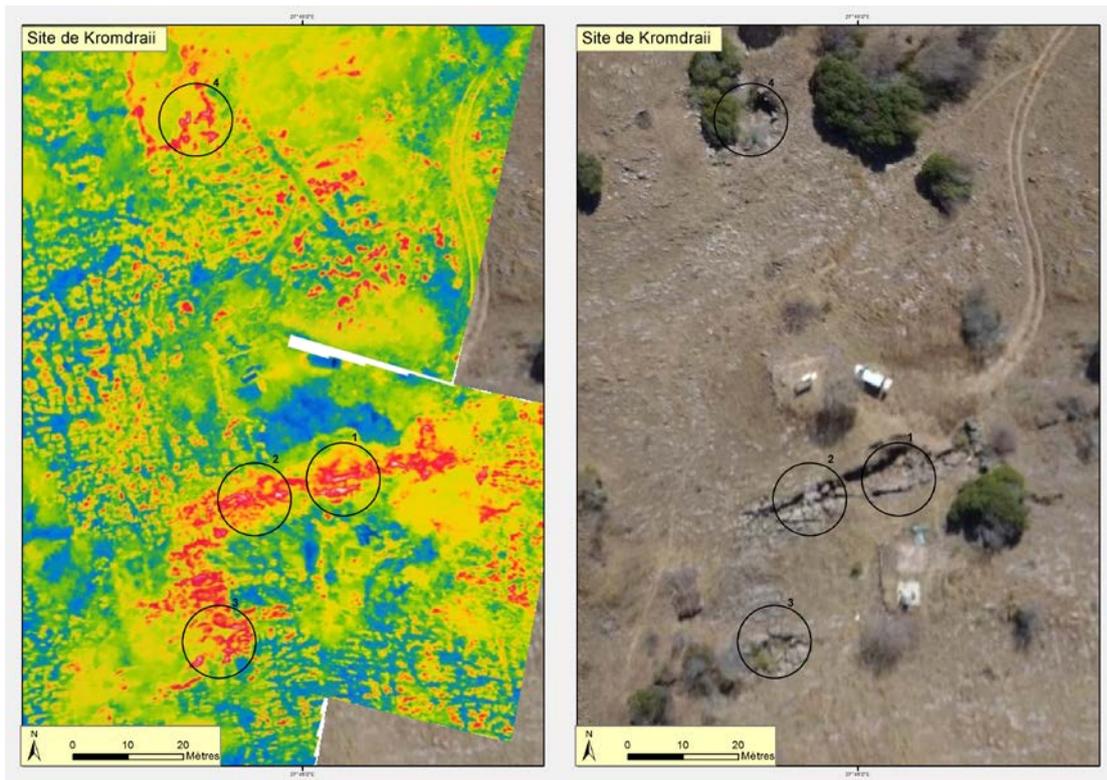


Figure 1 : Prospection thermique sur le site de Kromdraai, vue rapprochée

Aucune autre zone prospectée au cours de ce vol ne livre d'anomalies thermique aussi bien marquée.

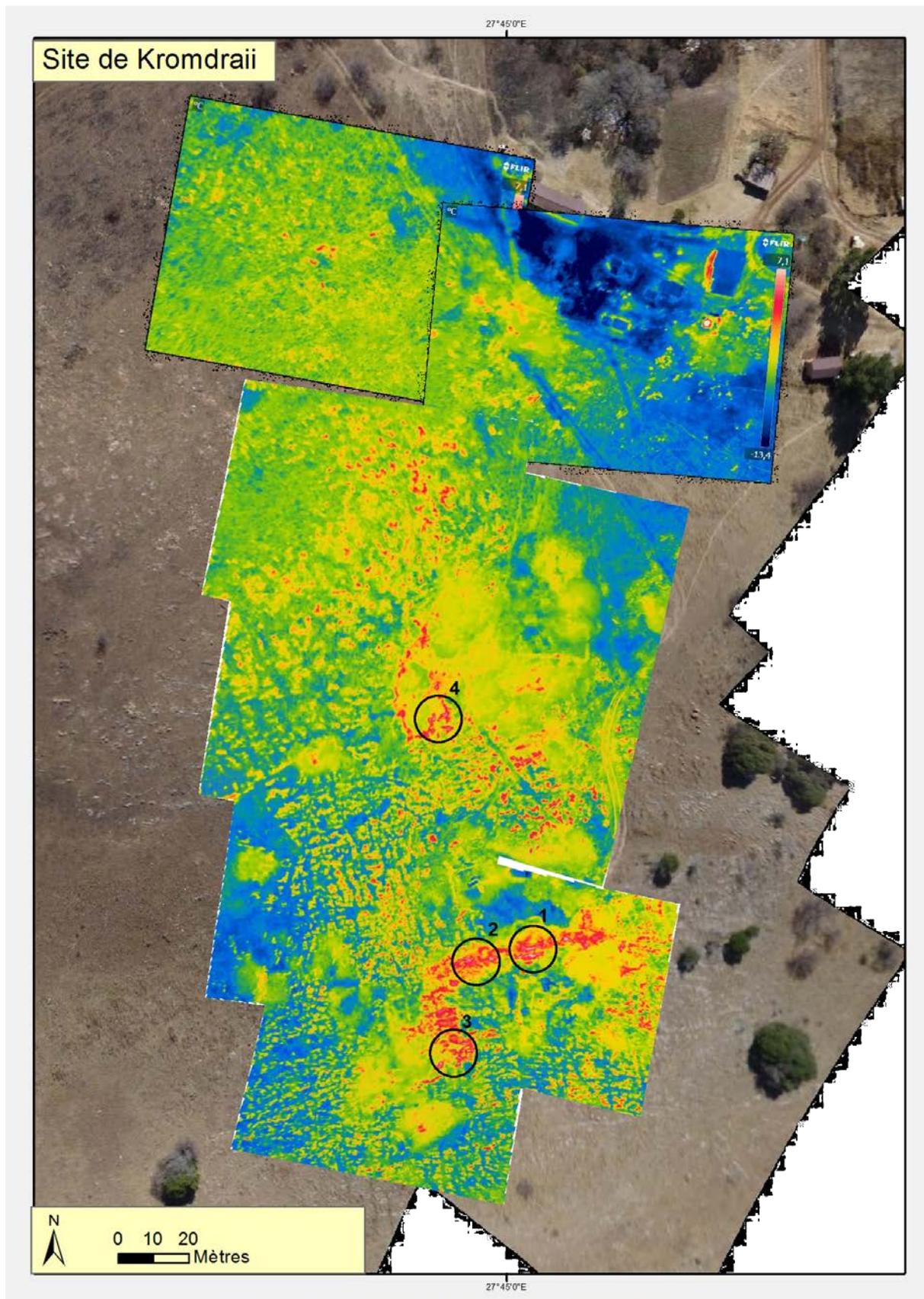


Figure 2 : Prospection thermique sur le site de Kromdraai, vue élargie.

Sur le site de Sterkfontein

Sur le site de Sterkfontein, un vol programmé a été réalisé à 100 m d'altitude et 30 m d'équidistance entre les points de prise de vue. Ce vol couvre environ 8 ha au nord-ouest de la grotte de Sterkfontein. Un vol libre à plus basse altitude (50m) a également été réalisé pour disposer de données plus fines au-dessus de la grotte elle-même et de ses abords immédiats.

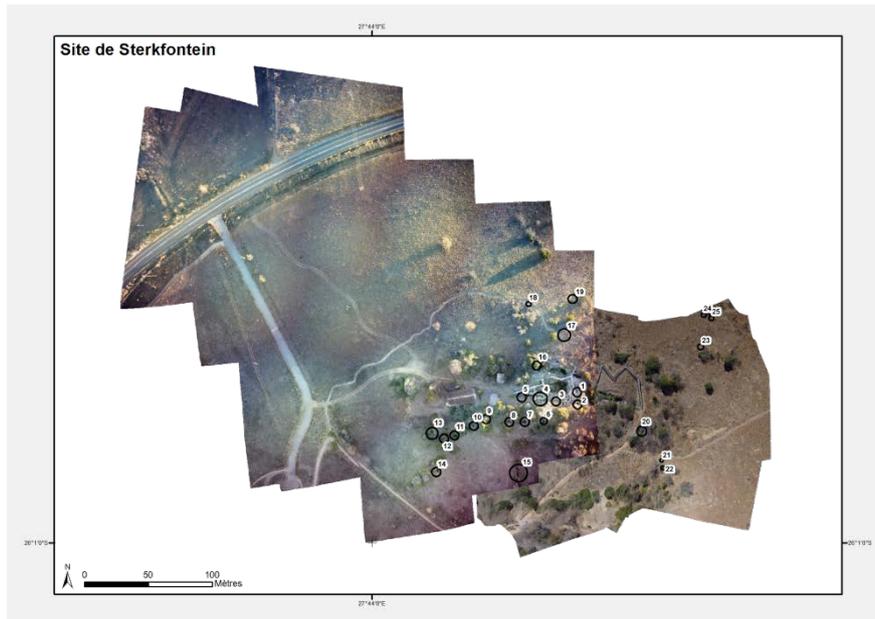


Figure 3 : Vol automatisé à 100 m d'altitude au-dessus du site de Sterkfontein, images classiques

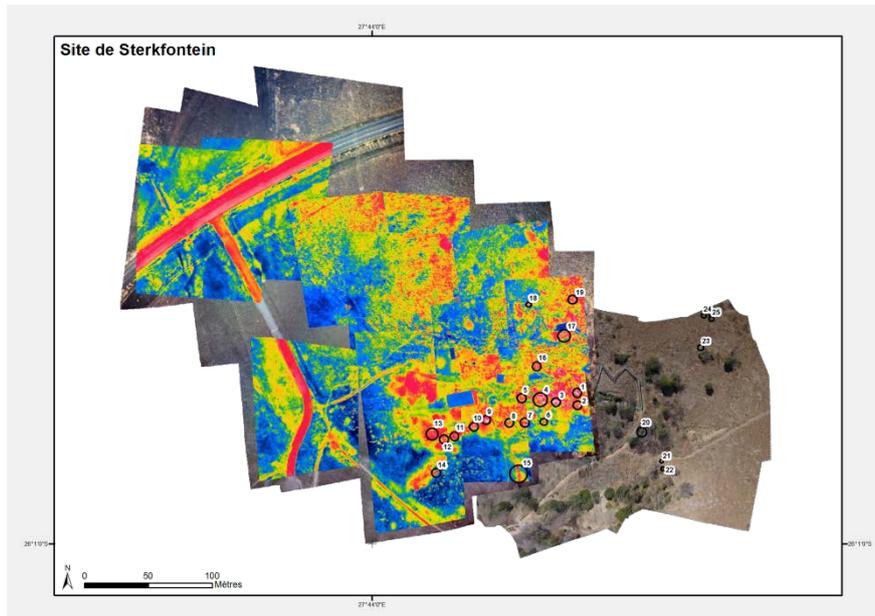


Figure 4 : Vol automatisé à 100 m d'altitude au-dessus du site de Sterkfontein, images thermiques

Sur le vol programmé à 100m d'altitude, les températures les plus élevées (8°C) ne sont mesurées que sur le site même de Sterkfontein et à ses abords (Figure 3 et Figure 4).

Les anomalies chaudes 1 à 5 sont observées sur le site même et leur géométrie a pu être précisée grâce au vol libre réalisé à 50 m d'altitude. L'anomalie numéro 3 ne correspond pas à une ouverture connue du réseau sous-terrain. Seul un trou d'une trentaine de centimètres permettait le passage de l'air au moment de la prise de mesure. Il a été ensuite agrandi par les ouvriers du chantier et de l'eau y a été versée dans le but de vérifier sa connexion avec les galeries souterraines. Par sa position topographique, il est susceptible de communiquer avec la salle où a été trouvé le fossile baptisé "Little Foot". Cette ouverture serait même une candidate sérieuse pour le point d'entrée aujourd'hui comblé de cet australopithèque dans la grotte... Au moment où nous quittions le terrain, cette hypothèse n'était toujours pas vérifiée, mais il est au moins assuré que cette ouverture est en connexion avec le réseau souterrain compte tenu de la température de l'air qui s'en échappe.

Les anomalies 6 à 16 apparaissent comme les manifestations thermiques d'ouvertures vers le réseau clairement visibles sur les clichés aériens classiques.

En revanche, les anomalies 17 à 19 semblent plutôt révéler la présence de rochers affleurant le sol et déjà réchauffés par les premiers rayons du soleil ou présentant une forte rémanence thermique, car elles ne correspondent à aucune ouverture visible ou bosquet pouvant masquer de telles ouvertures. Leur forme et leur taille est toutefois différentes des anomalies relevées à l'emplacement des ouvertures connues sur le réseau.

Le vol libre à 50 m d'altitude a permis la détection des anomalies 20 à 25 ainsi qu'une meilleure lisibilité des anomalies précédemment décrites (Figure 5 et 6).

L'anomalie 20 correspond à une entrée connue du réseau souterrain bien visible sur la photographie aérienne classique.

Les anomalies 23 à 25 correspondent peut-être simplement à des affleurements rocheux, mais leur proximité de bosquets qui cachent généralement des entrées de réseau invite à la prudence. La relative imprécision du géoréférencement (jusqu'à 2 mètre de marge d'erreur) peut nuire à l'association de ces anomalies chaudes avec les bosquets eux-mêmes et de possibles entrées de galeries.

Les anomalies 21 et 22 sont intéressantes pour leur forme très localisée et isolée au sein d'espaces très froids. Le contrôle au sol a révélé que l'anomalie 21 correspond à un bloc de pierre profondément enfoncé au sol, dont la signature thermique était étonnamment froide par rapport à son environnement en plein milieu d'après-midi. On a donc affaire à un bloc dont la signature thermique est très stable (chaude sur sol froid, et froide sur sol chaud). On constate de plus un son creux en tapant du pied au sol à proximité de cet endroit. L'anomalie 22 est située à une dizaine de mètres au sud de l'anomalie 21, dans un bosquet. La même anomalie thermique a pu être

constatée au sol, sans qu'une ouverture quelconque n'ait pu être repérée. Ces deux anomalies témoignent sans doute d'extensions possibles de la grotte de Sterkfontein dont il reste à repérer ou à créer des accès.

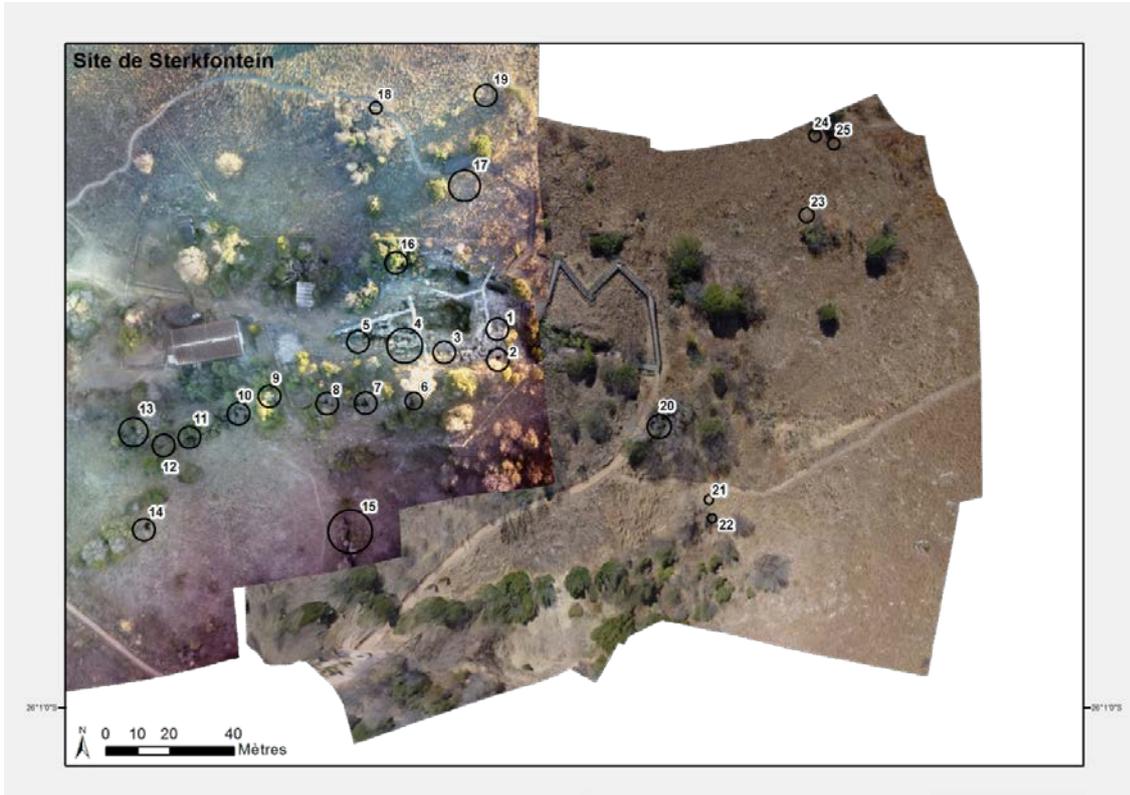


Figure 5 : Vol libre à 50 m d'altitude au-dessus du site de Sterkfontein, images classiques

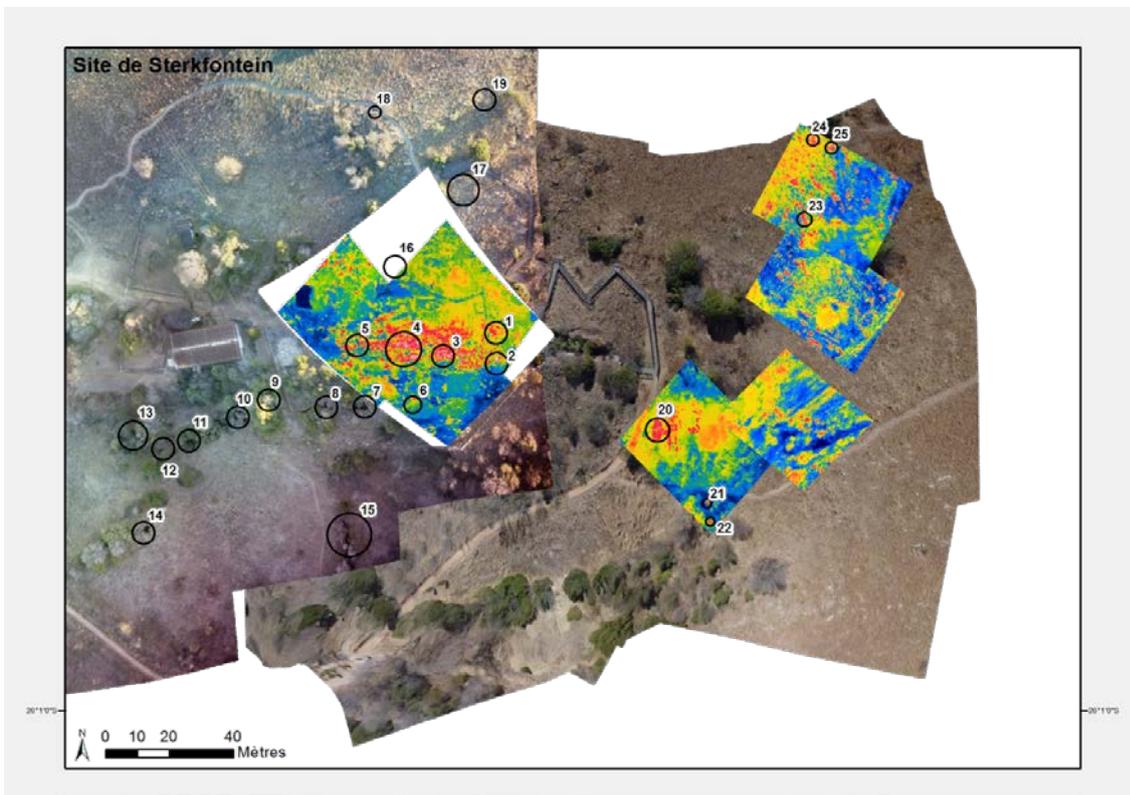


Figure 6 : Vol libre à 50 m d'altitude au-dessus du site de Sterkfontein, images thermiques

Conclusion

Au final, malgré les aléas technique liés à une mission de longue durée, le couplage du drone et de la caméra thermique a démontré tout son potentiel en matière de détection de cavités souterraines,

- en permettant la couverture continue d'une grande surface (près de 8 ha à Sterkfontein),
- en permettant la détection d'anomalies thermiques révélatrices de résurgences d'air souterrain déjà connues,
- en détectant de potentielles extensions des réseaux de cavités dans le prolongement des réseaux connus.

Il serait souhaitable de poursuivre nos investigations sur ce secteur, notamment en complétant la couverture thermique entre les deux sites de Kromdraai et Sterkfontein.



Mission en Afrique du Sud

Sites de Kromdraai et Sterkfontein

25 juin au 4 juillet 2012

Rapport

1. prospection infrarouge thermique pédestre



Carine Calastrenc

UMR 5608 TRACES, équipe Terrae

Contexte d'intervention

L'utilisation de la prospection thermique sur les réseaux karstiques d'Afrique du Sud (sites de Kromdraai et Sterkfontein) a été envisagée dans un double but. En premier lieu, pour vérifier, au sol, les observations faites durant les vols (cf. N. Poirier) et en second temps pour la reconnaissance des courants d'air à l'intérieur des réseaux karstiques et la détection des zones humides.

Les sites de Kromdraai et Sterkfontein sont connus pour avoir livré les fossiles de primates pré-humains parmi les plus anciens (*Australopithecus Africanus* notamment), ce qui a valu à cette région le statut de "berceau de l'humanité" et un classement à ce titre au patrimoine mondial de l'UNESCO. Ainsi, une connaissance plus précise de l'extension et de l'organisation des réseaux karstiques de cette région est indispensable pour une mise en contexte des fossiles découverts, pour une meilleure compréhension des processus de formation stratigraphique des sédiments qui les contiennent, et de là, la possibilité de découvrir d'autres spécimens.

Procédure d'intervention

Les prospections thermiques pédestres ont été effectuées après les vols, en fin de matinée et l'après-midi.

La plupart des prises de vue thermiques ont été réalisées à différentes échelles : des vues d'ensemble pour comprendre les phénomènes généraux de flux d'air et localiser les zones humides et de détail pour une perception des phénomènes à grande échelle.

Aléas d'une mission sur le terrain...

Le travail en souterrain avec la caméra thermique (Flir T620) a permis de détecter un problème de conceptuel interne : la prise de vue classique impossible dans un milieu sans lumière et à fort taux d'humidité. Ce problème a été reporté à Flir qui est en train de développer un programme pour palier à cela. Les conséquences de ce problème n'ont pas été dommageables pour la mission dans la mesure où les images thermiques ont été réalisées.

Procédure de traitement des données acquises

Plusieurs dizaines de clichés thermiques ont été acquis au cours de ces prospections pédestres sur les sites de Kromdraai et Sterkfontein. Il a été possible de réaliser une analyse individuelle de chaque cliché puis de confronter les résultats pour arriver à une analyse globale du réseau souterrain.

Principaux résultats

Sur le site de Sterkfontein – en surface

Suite au vol de prospection thermique sur et autour de Sterkfontein plusieurs anomalies thermiques ont été identifiées (cf Nicolas Poirier). Une vérification au sol de chaque anomalie a été réalisée.

- Le **premier point chaud** identifié par la prospection thermique aérienne (Cf. Nicolas Poirier, p.10, pt. 3) correspond, au sol, à un trou d'une dizaine de centimètre situé au sud du site de Sterkfontein, en bordure de l'excavation. La vérification au sol de ce point chaud a été réalisée en début d'un chaud après-midi, ce qui explique l'inversion des températures (l'air ambiant extérieur est plus chaud que l'air sortant du réseau souterrain). Ce trou correspond à une résurgence d'air plus froid provenant de l'intérieur du réseau karstique. Il pourrait correspondre au point d'entrée de Littlefoot dans le réseau

L'air qui sort du réseau (au niveau du mélange d'air entre l'intérieur et l'extérieur) est de 18.1° (en prune sur l'image thermique). Cette colonne d'air se diffuse. Il est « plaqué au sol par l'air plus chaud ambiant et se réchauffe rapidement au contact de cet air. Il passe ainsi, en quelques centimètres, de 18.1° à 23.3°.

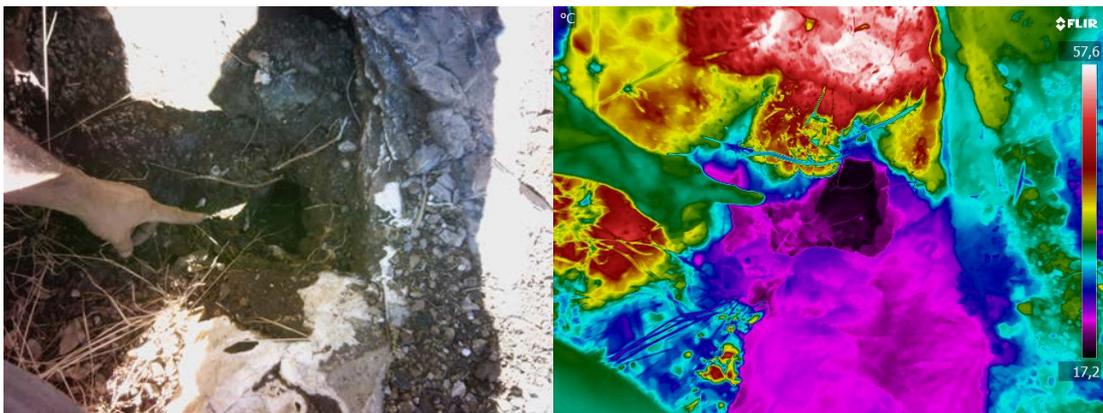


Figure 7 : Vérification d'un point chaud découvert en prospection thermique aérienne, vue rapprochée

- Le **second point chaud** repéré par prospection thermique aérienne se trouve au sud-est du site de Sterkfontein, à quelques centaines de mètres du périmètre du réseau connu. (Cf Nicolas Poirier, p. 10, pt.21). Cette image a été prise à 6h46 du matin à un moment où la température extérieure était négative. Ce point chaud correspond à un caillou affleurant la surface. **Ce caillou sert de catalyseur** ; il transmet la température d'une possible cavité souterraine située sous lui.

Le bord du caillou (par là où passe l'air sous-jacent) est au contact de l'air froid extérieur à 3.6°. La surface du caillou qui à 0.7° (le caillou est directement en contact avec l'air froid extérieur ambiant (température négatives). Très rapidement au contact de l'air froid matinal, l'air provenant du réseau souterrain se refroidit et passe 3.6° à -2.7°. Cette anomalie thermique pourrait être l'indice de la présence d'un réseau souterrain peut être, un extension du réseau karstique de Sterkfontein.



Figure 2 : Prospection pédestre thermique, site de Sterkfontein, vue rapprochée

Sur le site de Sterkfontein – en souterrain

Deux prospections pédestres ont été réalisées dans le réseau souterrain de Sterkfontein. Les observations faites ont portées sur les variations de températures et les traces d'humidité.

o Les variations de température à l'intérieur du réseau

Cette image a été prise dans le réseau souterrain de Sterkfontein, dans XXXXX. Le travail de l'image thermique permet de faire deux observations :

La première : Le couloir photographié, qui débouche sur la salle XXXX, est parcouru par un air plus chaud (en blanc – 17.3° et rouge – 16° sur l'image) que cette dernière. Au débouché du couloir, l'air chaud monte et vient butter contre le plafond de la salle XXXX. Il se propage à l'intérieur et au fur et à mesure de son avancé dans la salle XXX, il se refroidit au contact de l'air plus froid, passant de 17.3° à 14.8° en quelques mètres.

La seconde observation concerna la mise en évidence de la présence de deux zones humide : une smaltite et une infiltration par la paroi (en violet sur l'image : 14.1°).

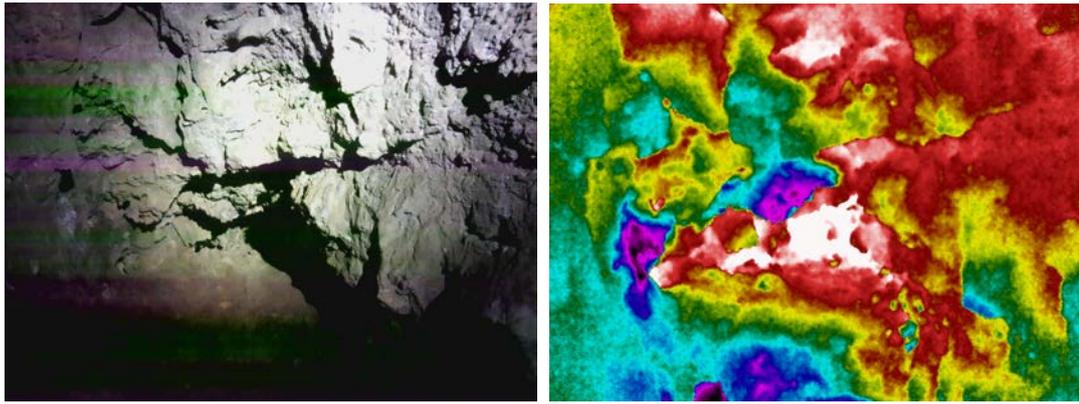


Figure 3 : Prospection pédestre thermique, site de Sterkfontein, vue rapprochée

- **L'humidité**

Couloir XXXX : dans cet exemple, l'eau ne coule pas, elle suinte le long de la paroi (suintement est visible à l'œil nu).

3 zones humides sont repérables (en bleu foncé sur l'image – 9.7°) sur l'image. Les taches plus foncées (donc plus froide que l'air ambiant) sont les endroits où l'eau arrive par goutte à goutte. Les zones en bleu moyen (10.1°) sont les secteurs directement impactés par l'eau (refroidissement – 10° - 10.8°). Ce suintement d'eau provient des parties supérieures du réseau et a des répercussions sur la moitié de la paroi (elle n'affecte pas ou peu moins la paroi en face en rouge sur l'image). Cette image, permet également de réfléchir aux différences de température à l'intérieur même des zones humides (en bleues sur l'image). On distingue ainsi des zones plus sombres (bleus foncés – 9.7°) qui correspondent aux arrivées de l'eau. On peut également voir, dans la partie haute, l'écoulement de l'eau qui provient du plafond. Cette image permet donc de comprendre comment l'eau se propage dans cette salle.



Figure 4 : Prospection pédestre thermique, site de Sterkfontein, vue globale

Une image thermique a été réalisée sur la seule partie humide au sol. Cette image de détail permet de voir que l'eau provient de deux endroits et permet de localiser les endroits précis où les gouttes d'eau arrivent (en prune sur l'image : 10°). On voit également l'influence froide de cette eau (en vert – 10.8° et jaune – 11.1°).

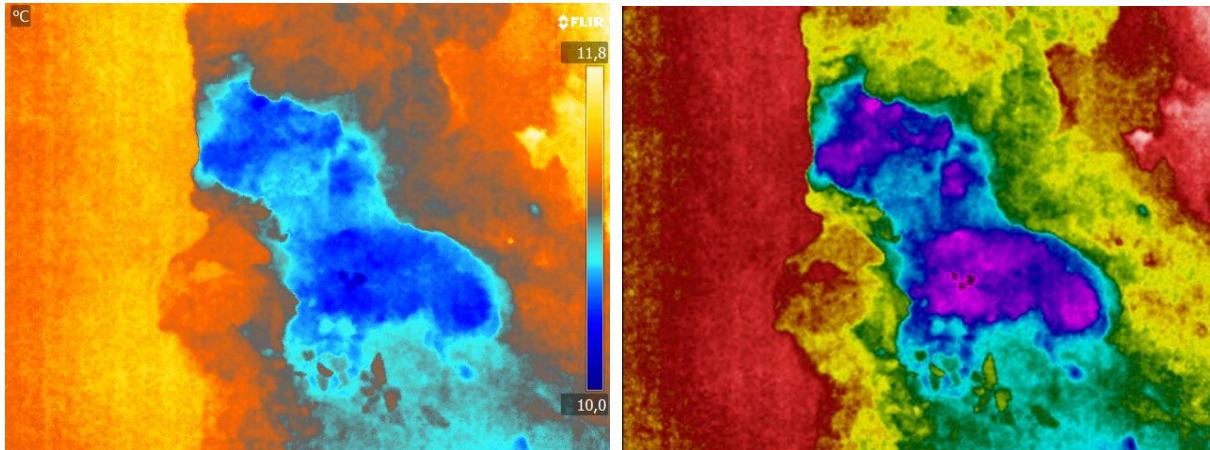


Figure 5 : Prospection pédestre thermique, site de Sterkfontein, vue de détail

Une image thermique a été réalisée sur le sol du couloir XXXX. Elle permet de voir les zones d'impact des gouttes provenant du plafond (en violet sur l'image de gauche). L'image retravaillée permet localisation avec plus de précision les points d'impacts, de différencier les plus actifs (plus froids – ici en noir et violet : 13.9°) des points d'impacts les moins actifs (ici en rose : 14.1°). La zone bleue (14°) étant la zone directement influencée par ces points d'humidité.

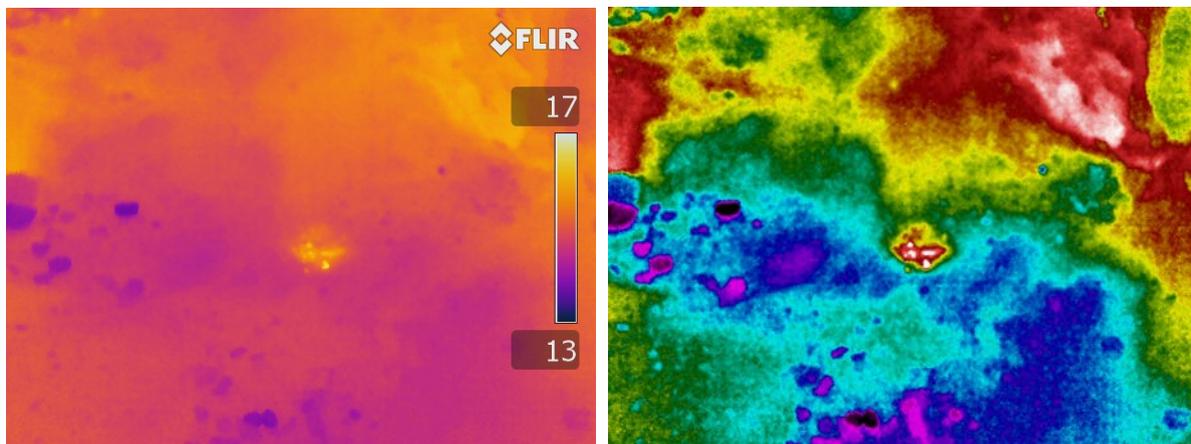


Figure 6 : Prospection pédestre thermique, site de Sterkfontein, vue de détail

Sur le site de Kromdraai

Sur le site de Kromdraai et dans ces alentours, deux visites des différents réseaux karstiques ont été faits. Ces prospections ont essentiellement eut pour objectifs de comprendre les circulations d'air propres à chaque réseau et de voir s'ils n'étaient pas indicateurs d'extensions du réseau.

- Prise de vue faite depuis l'entrée d'un des départs de réseau de Kromdraai.

A l'intérieur du réseau de Kromdraai, dans le couloir XXXX, des images thermiques ont été faites. Elles permettent de voir deux arrivées d'air chaud qui débouchent dans le conduit XXX qui mène à l'extérieur qui est parcouru par de l'air plus froid (température négatives lors de la prise de vue) que celui provenant des deux boyaux. L'air chaud qui arrive des deux galeries est plus chaud (16.3°), monte et se refroidit très rapidement (descendant jusqu'à 12.1° en quelques mètres).

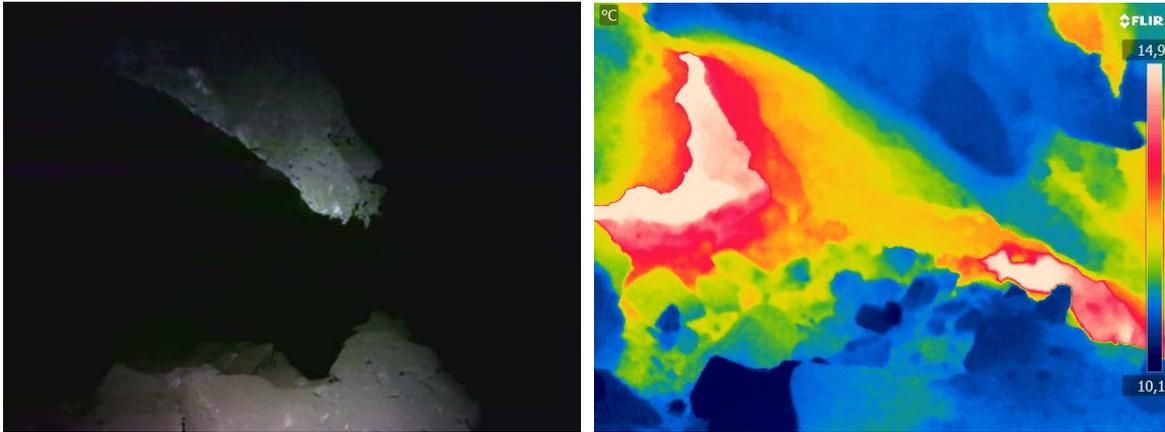


Figure 7 : Prospection pédestre thermique, site de Kromdraai, vue globale

Si l'on réduit l'observation thermique strictement aux zones ayant une température comprise entre 16° et 12°, on obtient l'image ci-dessous. Elle permet de mieux localiser l'endroit précis d'où vient l'air chaud dans les galeries. Cet air chaud provient de la gauche ; ce qui peut indiquer la direction du réseau.

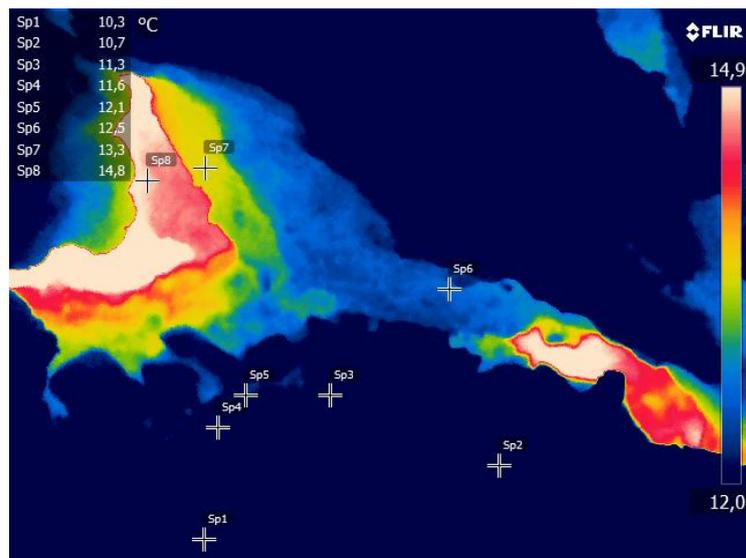


Figure 8 : Prospection pédestre thermique, site de Kromdraai, vue globale

Si l'on réduit encore un peu plus la fenêtre d'observation et que l'on ne prend en compte que les zones situées entre 16° et 15°, on se rend compte que l'air chaud qui arrive des deux galeries n'est pas à la même température. Celui qui provient de la galerie de gauche est à 16.7°. Celui de la galerie de droite est à 15.3°. Cela pose des questions, parmi lesquelles celles ci : Cet air provient t'il de la même source ? Si oui, pourquoi une telle différence ? Est-il possible qu'une galerie intermédiaire parcourue par un air plus froid impacte la galerie de droite ?

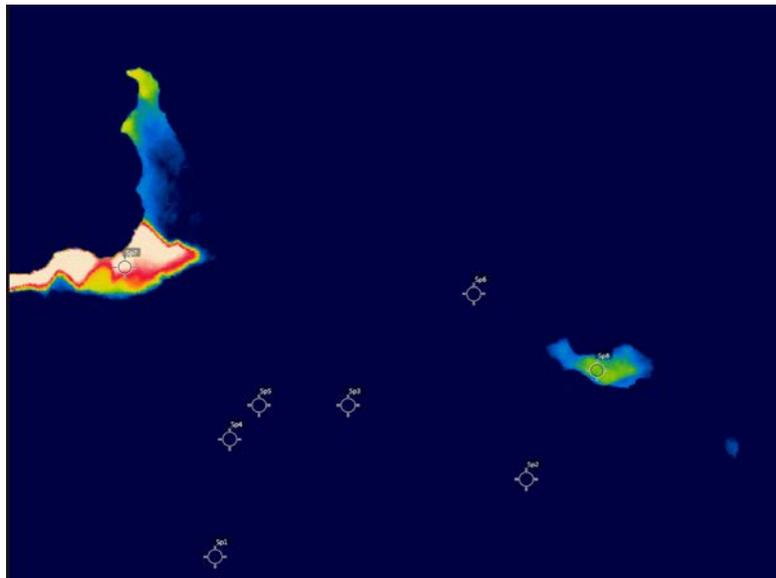


Figure 9 : Prospection pédestre thermique, site de Kromdraai, vue globale

- Prise de vue entre Kromdraai et Sterkfontein

Les images thermiques permettent donc d'observer les masses d'air, de visualiser leur trajet et les mélanges thermiques.

L'image thermique de ce couloir souterrain (couloir XXX) permet de distinguer un courant d'air chaud (12.8°) qui se diffuse par le plafond, puis longe les parois et plafonds de la salle XXX. Une fois dans cette salle, l'air chaud se mélange assez rapidement avec l'air plus froid de cette dernière et passe de 12° à 9°. Les arrêtes saillantes de la salle où débouche ce couloir sont soumises à l'air plus froid de la salle (en vert sur l'image : 7°). Les fissures latérales qui partent du couloir, sont elles sous l'influence de l'air chaud du couloir (en rouge sur l'image : 10°).

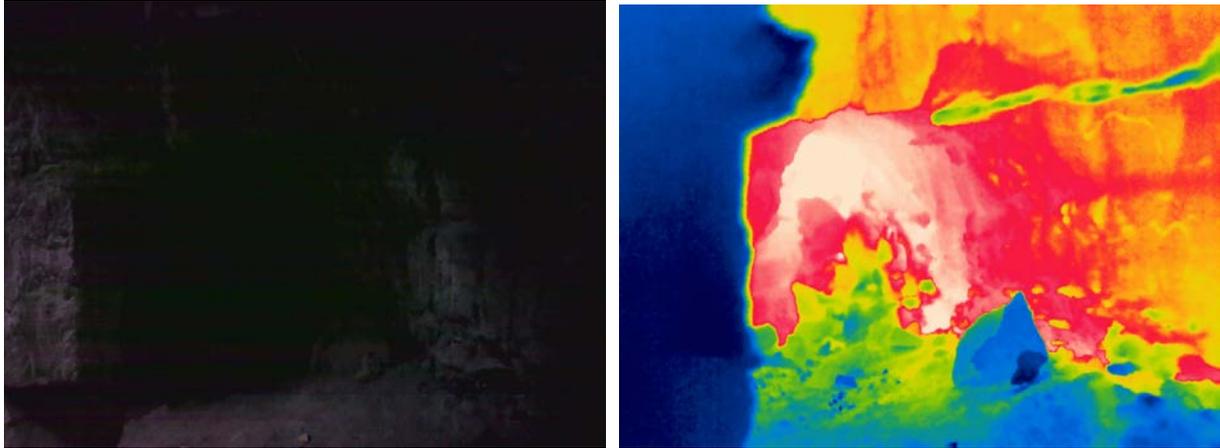


Figure 6 : Prospection pédestre thermique, site de XXXX, vue générale

Conclusion

Au final, malgré les aléas technique liés à un problème interne de la caméra utilisée, les images thermiques pédestres ont démontrées leur potentiel en matière de confirmation des observations faites durant la prospection thermique aéroportée et la compréhension des courants d'air et des zones humides en milieux souterrain.

