



Cristina Poretti, Adrian Hess, Gerald Scharding

7 juin 2024

# Campagne de mesures aéroradiométriques 2024

du 29 mai au 7 juin 2024

Rapport d'exercice et résultats des mesures

Rév. 1.1



## Table des matières

<b>1</b>	<b>Condensé .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Exercice d'aéroradiométrie 2024 .....</b>	<b>4</b>
2.1	Objectifs généraux de l'équipe d'aéroradiométrie .....	4
2.2	Vols de mesure aux alentours des centrales nucléaires suisses .....	4
2.3	Campagne internationale de mesure du 3 au 7 juin 2024 en collaboration avec des équipes ARM tchèques et françaises .....	4
2.4	Information de la population, des médias et des autorités.....	5
2.5	Rapport scientifique .....	6
2.6	Organisations partenaires participantes .....	6
<b>3</b>	<b>Résultats de la campagne de mesure en Suisse.....</b>	<b>7</b>
3.1	Programme de mesure standard au voisinage des installations nucléaires des CN L et CN B, du PSI et du ZWILAG .....	7
<b>4</b>	<b>Résultats de la campagne internationale de mesure en Tchéquie (AGC24).....</b>	<b>12</b>
4.1	Tâche I : zone de référence à Vyškov .....	12
4.2	Tâche II : zone de mesure à Vysočina .....	15
4.3	Tâche IV : zone de mesure à Libavá .....	21
4.4	Tâche III : zone de mesure à Opavsko .....	26
<b>5</b>	<b>Bilan .....</b>	<b>32</b>
	<b>Annexe A : Généralités.....</b>	<b>33</b>

## 1 Condensé

Pour la campagne annuelle de mesures aéroradiométriques, on s'est écarté en 2024 de la procédure habituelle. Au lieu du programme hebdomadaire comprenant des mesures standard autour des installations nucléaires suisses, la cartographie radiologique des zones habitées et quelques vols permettant d'acquérir des connaissances et un effet d'entraînement particuliers, les vols à l'intérieur de la Suisse ont été réduits au minimum cette année afin de disposer d'un maximum de temps de vol pour une campagne internationale de mesure.

Les vols de mesure en Suisse ont eu lieu le mercredi 29 et le vendredi 31 mai et se sont limités au programme standard dans les environs des centrales nucléaires de Beznau (CN B) et Leibstadt (CN L), où se trouvent également l'Institut Paul Scherrer (PSI) et le dépôt intermédiaire de déchets radioactifs (Zwilag). En raison de conditions météorologiques défavorables, le programme de mesure standard a également dû être réduit ; la priorité a été donnée aux lignes de vol situées à proximité immédiate des installations nucléaires.

La campagne internationale de mesure s'est déroulée la semaine suivante, du lundi 3 au vendredi 7 juin, en Tchéquie, avec une équipe de l'Institut tchèque de radioprotection (SÚRO) et une équipe de l'Autorité de radioprotection et de sûreté nucléaire (ARSN) française. Cet exercice commun, qui s'est déroulé dans les environs de la ville tchèque de Přerov, a permis de comparer les systèmes et les stratégies de mesure des équipes participantes et de s'entraîner à la collaboration en cas d'événement. La campagne a également permis aux participants d'échanger leurs expériences et de faire connaissance.

### Principaux résultats de l'exercice d'aéroradiométrie 2024 :

1. L'exercice international de Přerov (Tchéquie) a permis de s'entraîner à la collaboration avec des équipes étrangères. Cela comprenait également l'attribution d'un mandat par un organe externe et la coordination des vols avec des partenaires afin de répartir efficacement les grandes zones mesurées. Les systèmes ont été utilisés simultanément et de manière coordonnée et les données de mesure ont été relevées en temps voulu.
2. L'exercice international a été l'occasion de mesurer des zones présentant un taux de radioactivité élevé.
3. La campagne en République tchèque comprenait également une recherche de sources avec une limite territoriale dont le survol était interdit. Les sources de radioactivité dissimulées ont été localisées, les radionucléides identifiés et les opérateurs ont pu demander aux pilotes de survoler plusieurs fois les sources détectées dans différentes directions, ce qui a permis de les localiser avec précision.
4. Les équipes de mesure qui ont participé à l'exercice ont pu tirer profit des échanges. Elles ont pu établir un contact personnel avec les équipes d'intervention de leurs partenaires internationaux et améliorer leur connaissance de leur doctrine d'intervention, de leurs capacités et de leur équipement.
5. Les principales mesures de contrôle ont été effectuées en collaboration avec l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) aux environs des centrales nucléaires de Beznau et de Leibstadt. On n'a constaté aucune augmentation de la radioactivité par rapport au sous-sol naturel en dehors des sites des CN. En outre, aucun changement n'a été observé par rapport aux résultats des mesures des années précédentes.
6. Les spécialistes des mesures, les techniciens et les pilotes de l'équipe d'aéroradiométrie possèdent tous un excellent niveau de formation et d'entraînement.

## **2 Exercice d'aéroradiométrie 2024**

Les vols de mesure de cette année ont eu lieu les 29 et 31 mai en Suisse et du 3 au 7 juin en Tchéquie, dans le cadre de la participation à une campagne internationale de mesure aux côtés des équipes ARM tchèques et françaises. L'aérodrome de Dübendorf a servi de base de décollage et d'atterrissage pour les vols de mesure suisses, et l'aérodrome militaire de Pířerov (CZE) pour les vols en Tchéquie.

### **2.1 Objectifs généraux de l'équipe d'aéroradiométrie**

La semaine de mesure poursuivait les objectifs fondamentaux suivants :

- installation et disponibilité opérationnelle de l'équipement de mesure dans les délais impartis ;
- mise en pratique des connaissances requises pour un engagement :
  - préparation d'un engagement
  - déplacement ad hoc de l'équipe d'évaluation ARM sur le terrain
  - utilisation des appareils pendant l'engagement
  - évaluation et interprétation des résultats sur le terrain
  - entraînement des pilotes aux vols aéroradiométriques
- mise en pratique de la communication entre les pilotes et l'équipe de mesure (p. ex. guidage du vol par l'opérateur) ;
- présentation des résultats des mesures : mise à disposition d'un condensé et d'une interprétation des résultats deux heures après le vol ;
- perfectionnement et renforcement des connaissances pour l'exploitation du système ARM introduit par la CENAL ;
- vérification et mise à jour de la documentation d'intervention.

### **2.2 Vols de mesure aux alentours des centrales nucléaires suisses**

Les centrales nucléaires suisses font l'objet de mesures aéroradiométriques bisannuelles sur mandat de l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN). Cette année, les vols de mesure ont été effectués au-dessus des CN B et CN L, du PSI et du ZWILAG.

### **2.3 Campagne internationale de mesure du 3 au 7 juin 2024 en collaboration avec des équipes ARM tchèques et françaises**

Sept ans après le dernier exercice international d'aéroradiométrie en Suisse avec des équipes de mesure d'Allemagne, de France et de Tchéquie, et neuf ans après l'exercice organisé en Allemagne, l'équipe suisse a pu participer à nouveau à une campagne de mesure internationale, cette fois en Tchéquie. Les objectifs généraux de la semaine de mesure étaient les suivants :

- mise en pratique des connaissances requises pour un engagement ;
- échange d'expériences entre partenaires internationaux ;
- entraînement aux interventions aéroradiométriques internationales, en particulier
  - coordination des vols de mesure dans une zone commune ;
  - recherche commune de sources ;
  - échange et harmonisation de données entre équipes.



L'exercice de mesure comprenait quatre tâches (tasks I à IV) accomplies dans différentes zones de mesure et permettant d'exercer différents aspects de la coopération et de la technique de mesure :

- deux mesures comparatives dans des zones de référence
- recherche d'anomalies et de sources
- mesure d'une zone présentant des particularités intéressantes, notamment un sous-sol et une surface riches en uranium
- établissement d'une carte commune (composite mapping) grâce à la division d'un large secteur en zones mesurées par les différentes équipes.

À l'exception de la carte commune, toutes les équipes ont dû cartographier les mêmes zones. Pour certains ordres de mesure, les paramètres de vol étaient imposés par la direction de l'exercice, alors qu'il n'y avait pas de consignes pour d'autres. Dans ces cas, les équipes se sont concertées et chacune a choisi une approche appropriée pour tenir compte des caractéristiques et des points forts de son propre hélicoptère et obtenir les meilleurs résultats possibles dans les délais impartis.

Pour obtenir la carte commune, les équipes ont mesuré une zone d'environ 220 km<sup>2</sup> en 3 h 30. L'accent a été mis sur la division de la zone et la coordination des vols de mesure. La capacité de réunir les résultats des mesures (composite mapping) pour établir une carte commune d'une zone répartie entre les équipes est très importante en cas d'événement et constitue un élément essentiel de telles campagnes internationales de mesure.

Les résultats feront l'objet d'une analyse détaillée après les campagnes de mesure. Elle comprendra une évaluation scientifique et des comparaisons des résultats. En outre, il s'agira de vérifier la compatibilité des systèmes et des données de mesure.

## **2.4 Information de la population, des médias et des autorités**

### **2.4.1 Vols de mesure en Suisse**

En raison des nuisances sonores de l'hélicoptère de radiométrie, il a été jugé indispensable d'informer largement le public au préalable. Dans cette optique, les autorités de toutes les communes survolées de même que les polices cantonales concernées ont toutes été informées par écrit des vols prévus et invitées à se référer à la Centrale nationale d'alarme (CENAL) en cas de questions de la population.

Le 22 mai, les vols de mesure ont été annoncés dans un communiqué de presse. Les partenaires et les autorités ont été informés au préalable de manière active.

En outre, pendant la semaine de mesure, des messages ont été diffusés quotidiennement via les canaux d'[Alertswiss](#) de l'OFPP et sur les réseaux sociaux. Le plan de vol a été mis en ligne sur le site web de la CENAL.

Différentes questions des autorités, des médias et de la population ont pu être traitées avant et pendant la semaine de mesure.

### **2.4.2 Exercice international de mesure en Tchéquie**

L'information sur l'exercice international a été transmise aux autorités locales par les organisateurs tchèques. Le premier jour de l'exercice, les médias locaux ont été invités à une séance d'information. La plupart des vols de mesure ont été effectués en Suisse au-dessus de zones habitées alors qu'en Tchéquie, ils ont eu généralement pour objet des terrains militaires inhabités. Dans ce pays, les vols n'ont donc guère entraîné de nuisances sonores ou d'insécurité pour la population et l'information n'a pas eu la même importance.

## 2.5 Rapport scientifique

Le PSI publiera d'ici la fin de l'année, vraisemblablement, un rapport scientifique détaillé.

## 2.6 Organisations partenaires participantes

Les organisations suivantes ont été impliquées dans la préparation et la réalisation du programme de mesures standard autour des installations nucléaires suisses des CNL et CNB, du PSI et du ZWILAG et de l'exercice international en Tchéquie :

- Centrale nationale d'alarme (CENAL) et EM CF CENAL
- Centre de compétences NBC-DEMUNEX
- Forces aériennes suisses (FA)
- Institut Paul Scherrer (PSI)
- Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN)
- équipe tchèque : Institut national de radioprotection (SÚRO)
- équipe française : Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), soutenu par des représentants du ministère américain de l'Énergie (États-Unis)
- équipe allemande : Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Bundespolizei-Flugdienst (BPOLFLD).

La Centrale nationale d'alarme et l'équipe d'aéroradiométrie remercient tous les participants pour leur bonne coopération et les collègues du SÚRO pour l'organisation de l'exercice.



### **3 Résultats de la campagne de mesure en Suisse**

#### **3.1 Programme de mesure standard au voisinage des installations nucléaires des CN L et CN B, du PSI et du ZWILAG**

Cette année, les vols de mesure ont été effectués au-dessus des environs des installations nucléaires de Leibstadt et de Beznau, du PSI et du ZWILAG. Le programme de mesure standard a été complété, à la demande de la Commission germano-suisse pour la sécurité des installations nucléaires (DSK), par une zone proche de la frontière sur le territoire allemand, qui comprend également quelques kilomètres carrés au-dessus de Waldshut-Tiengen. En raison du mauvais temps et de la disponibilité limitée de l'hélicoptère, il a fallu renoncer cette année au relevé radiologique de ces zones allemandes.

Les deux blocs de la centrale nucléaire de Beznau étaient en service pendant le vol de mesure, tandis que la centrale nucléaire de Leibstadt a été redémarrée vendredi après la fin de la révision annuelle et mise en service. Les installations SLS et SwissFEL du PSI étaient également en service.

##### **3.1.1 CN L, CN B, PSI et ZWILAG : informations sur le vol**

Date et heure :	29.05.2024, 15 h 24 – 16 h 30 et 31.05.2024, 8 h 47 – 10 h 53
Lignes de vol :	36 couloirs de 250 m de large
Durée du vol :	3 h 12 min
Zone survolée :	env. 115 km <sup>2</sup> aux alentours des CN L et CN B, du PSI et du ZWILAG
Hauteur :	env. 90 m

##### **3.1.2 CN L, CN B, PSI et ZWILAG : débit de dose ambiant**

###### À l'extérieur des aires d'exploitation des centrales nucléaires :

La carte du débit de dose ambiant (DDA) représentée à la Figure 1 n'indique aucune valeur suspecte à l'extérieur des aires d'exploitation des CN L et CN B, pas plus que du PSI et du ZWILAG. Les variations observées dans la région survolée sont dues à la géologie, à la topographie, aux cours d'eau et à la végétation.

L'anomalie de thorium naturel aux environs de Mandach est connue. La concentration de thorium dans le sol y est supérieure à la moyenne suisse. L'impact du rayonnement produit par ce thorium sur le débit de dose ambiant est très limité et à peine visible sur la carte du DDA (Figure 5).

Aucune différence importante n'a été constatée par rapport aux résultats de mesures précédentes dans les environs des CN B et CN L, ni du PSI ou du ZWILAG.

###### À l'intérieur des sites

Lors du vol de mesure du vendredi, la centrale nucléaire de Leibstadt était en cours de démarrage suite à la révision annuelle et était à environ 25 % de sa puissance. En conséquence, on constate une légère augmentation du débit de dose ambiant au-dessus de l'installation, principalement due au rayonnement d'annihilation. Une petite partie du DDA devrait être causée par l'azote N-16. Celui-ci peut être mesuré dans les réacteurs à eau bouillante en service, car l'oxygène contenu dans l'eau est partiellement activé en N-16 dans le réacteur, puis se décompose à nouveau en oxygène dans la salle des machines peu protégée. L'effet est toutefois nettement moins important que celui observé les autres années en cas de fonctionnement à pleine charge.



## Standardmessprogramm Beznau und Leibstadt

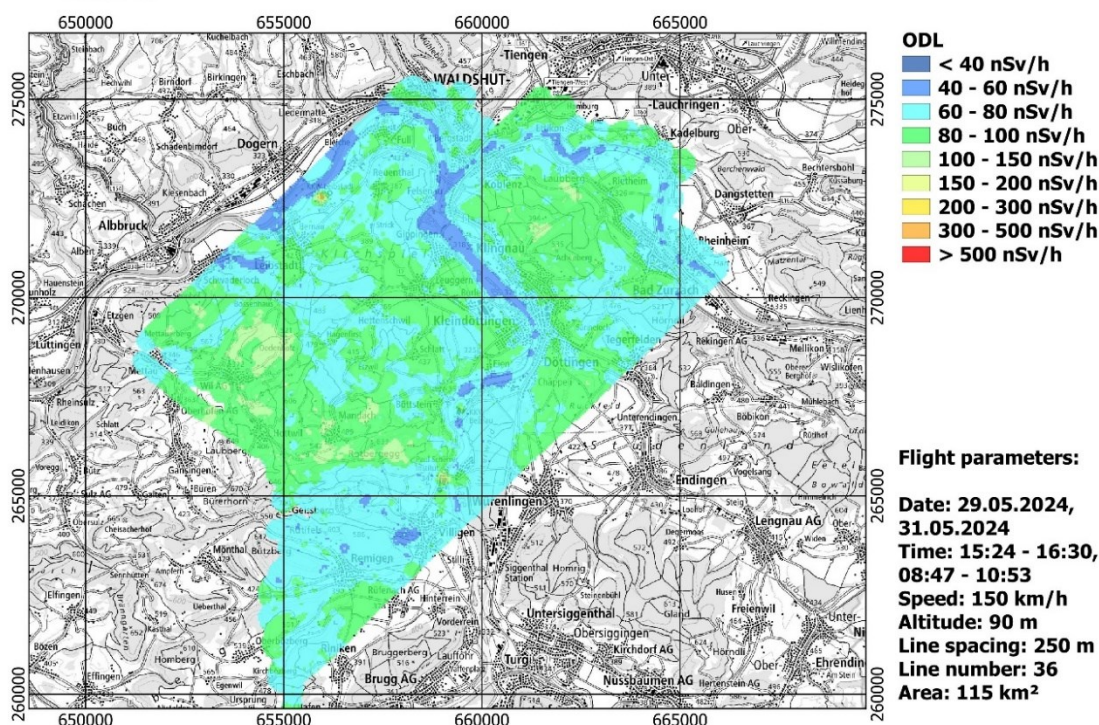


Figure 1 : carte du débit de dose ambiant (DDA) aux alentours des centrales nucléaires de Leibstadt et de Beznau et des installations nucléaires du PSI et du ZWILAG

En raison de l'épaisse enveloppe de protection du bâtiment du réacteur, aucun rayonnement gamma n'a été mesuré.

Au-dessus de la cheminée d'évacuation nord de l'Institut Paul Scherrer, on constate une légère augmentation du débit de dose, due aux radionucléides à vie courte que l'IPS est autorisé à rejeter avec un bilan.

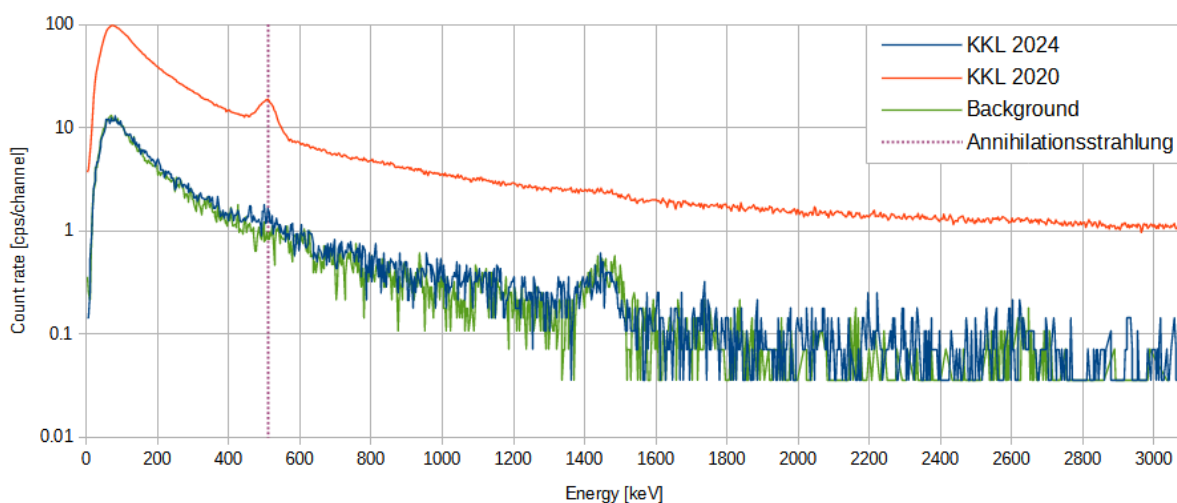


Figure 2 : spectre gamma, moyenne à partir de quelques points de mesure présentant une augmentation du DDA près de la CN L. Un peu de rayonnement d'annihilation présent à la valeur énergétique de 511 keV est à peine perceptible. En comparaison, le spectre enregistré en 2020, lorsque l'installation a été survolée pour la dernière fois en charge.

Le spectre gamma à la Figure 2 a été généré à partir de quelques points de mesure avec un DDA élevé près de la centrale nucléaire de Leibstadt. À 511 keV, on peut entrevoir un peu de rayonnement d'annihilation. La dernière fois que l'usine a été survolée en charge en 2020, ce pic était nettement plus marqué.

### 3.1.3 CN L, CN B, PSI et ZWILAG : rapport MMGC

La carte de la Figure 3 représente le rapport entre les deux extrémités du spectre énergétique. Les radionucléides artificiels produisant en général uniquement des rayonnements gamma faiblement énergétiques, ce rapport correspond à peu près au rapport entre le rayonnement artificiel et le rayonnement naturel et est appelé « Man made gross count (MMGC) ».

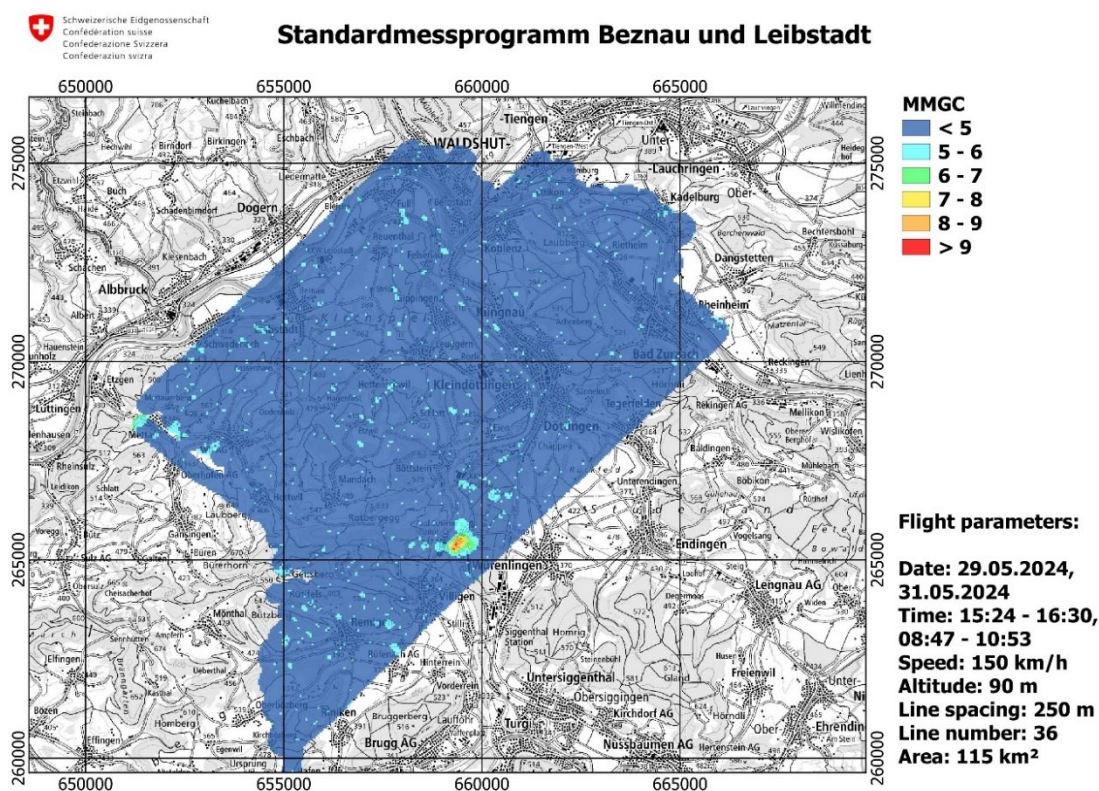


Figure 3 : carte du rapport MMGC aux environs des CN B et CN L, du PSI et du ZWILAG

Aucune augmentation due à une accumulation artificielle de radioactivité n'a été constatée, ni à l'intérieur des aires d'exploitation ni aux environs directs des centrales nucléaires de Leibstadt et de Beznau. Même si l'effet mentionné ci-dessus avait été plus prononcé avec la désintégration du N-16 produit dans le réacteur, cela n'aurait pas entraîné un rapport MMGC plus élevé, car le N-16 produit un rayonnement de haute énergie, contrairement à de nombreux autres radionucléides artificiels.

À l'Institut Paul Scherrer, la carte MMGC montre une zone avec des valeurs plus élevées, située un peu plus à l'est que la cheminée d'évacuation d'air mentionnée ci-dessus. Dans le spectre gamma de la Figure 4, on voit clairement que la raison en est le rayonnement d'annihilation à 511 keV qui apparaît dans la panache de la cheminée. Le fait que le rapport MMGC élevé ait été observé à l'est de la cheminée d'évacuation coïncide avec le fait que, selon MétéoSuisse, un vent d'ouest faible soufflait à 260° au moment du vol de mesure, donc avec une direction de vent descendant vers l'est.

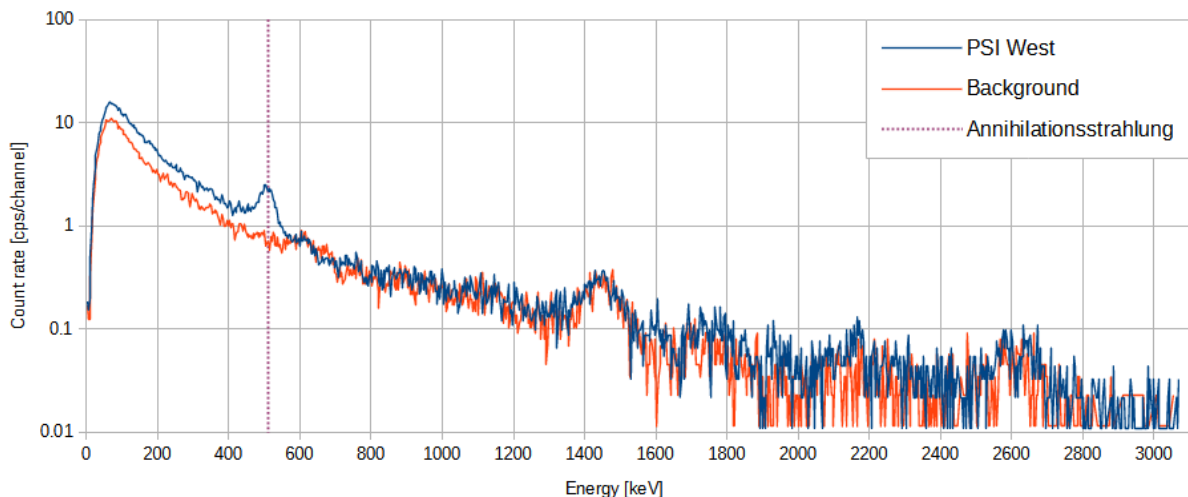


Figure 4 : spectre gamma d'analyse de surface de la zone de DDA élevé à l'Institut Paul Scherrer PSI, avec un pic de 511 keV dû au rayonnement d'annihilation.

#### Annihilation électron-positron de l'air évacué du PSI Ouest

Dans l'accélérateur du PSI Ouest, certaines parties de l'air ambiant sont activées par le rayonnement neutronique présent. Cet air est propagé dans l'environnement par le système de ventilation à 30 mètres de hauteur et se décompose en quelques minutes pour retrouver ses composants d'origine. Ce processus produit une annihilation électron-positron.

Le système de mesure d'aéroradiométrie est calibré pour une activité au sol. Lorsque l'hélicoptère traverse un nuage contenant des composants radioactifs, la source du rayonnement photonique est beaucoup plus proche du détecteur. De ce fait, l'activité extrapolée au rayonnement du sol est fortement surestimée.



#### 3.1.4 CN L et CN B, PSI et ZWILAG : thorium-232

Le signal spécifique au noyau de l'isotope du thorium 232 est représenté sur la carte de la Figure 5. L'anomalie de thorium décrite au paragraphe 3.1.2 est la cause des surfaces reconnaissables dans les environs de Mandach, au sud-ouest de Böttstein. Une concentration de Th-232 de 20 à 30 Bq/kg est typique de la Suisse ; dans les environs de Mandach, les valeurs atteignent jusqu'à 75 Bq/kg (voir rapport scientifique : PSI Bericht Nr. 15-02, ISSN 1019-0643, pages 8-11 et 20-23).



## Standardmessprogramm Beznau und Leibstadt

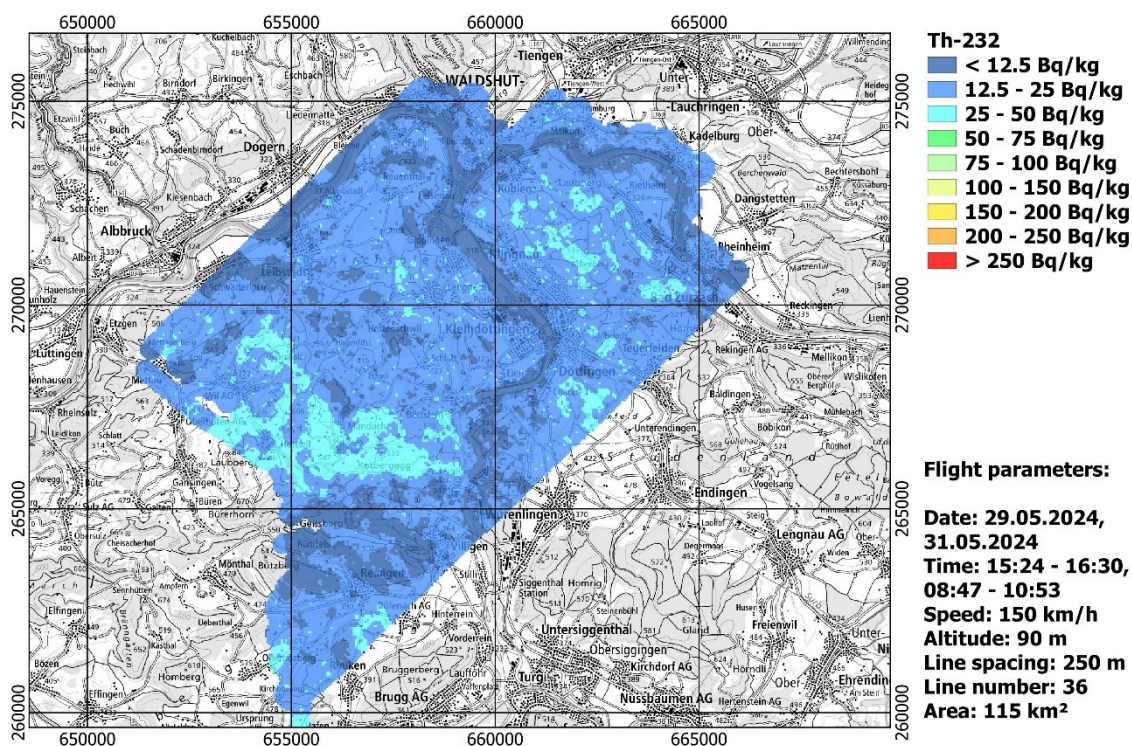


Figure 5 : carte du thorium 232 aux alentours des CN B et CN L, du PSI et du ZWILAG.

#### 4 Résultats de la campagne internationale de mesure en Tchéquie (AGC24)

Du lundi 3 au vendredi 7 juin, l'équipe ARM suisse a participé à une campagne de mesure internationale en Tchéquie qui a permis à des équipes tchèques, françaises et allemandes de s'entraîner à la collaboration. L'aérodrome de Přerov (CZE) a servi de base aérienne. Le programme prévoyait la réalisation de deux mesures comparatives dans des zones de référence, une recherche de sources radioactives, la mesure sur un territoire présentant un sous-sol et une surface à forte teneur en uranium et l'établissement d'une carte commune (composite mapping).

Le programme a été divisé en quatre tâches (tasks I à IV) qui devaient être accomplies pendant la semaine de mesure par chacune des trois équipes participantes. La Figure 6 montre les emplacements prévus pour l'accomplissement de ces tâches et leur position relative par rapport à l'aérodrome de base indiqué par un triangle rouge.

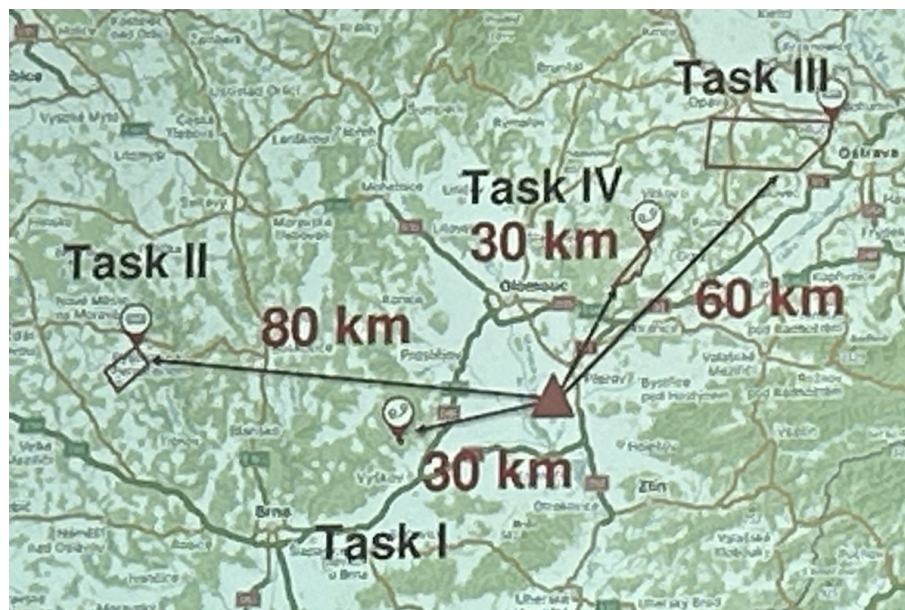


Figure 6 : carte générale montrant l'aérodrome de Přerov (triangle rouge) et les zones de mesure pour les tâches (tasks I à IV)

##### 4.1 Tâche I : zone de référence à Vyškov

La région est située à env. 30 km au sud-ouest de Přerov. La surface à mesurer était d'un peu plus de 1 km<sup>2</sup>.

##### 4.1.1 Consignes de la direction de l'exercice

Durée du vol : durée totale pour la zone survolée 60 min maximum

##### Exercice A : mesure en surface

Hauteur : mesure 1 : 70 m / mesure 2 : 140 m

Vitesse de vol et distance entre les lignes de vol choisies librement

##### Exercice B : vol stationnaire au-dessus d'un point défini

Hauteur : mesure 1 : 70 m / mesure 2 : 140 m



Durée de la mesure : 5 min pour chaque hauteur de vol

#### 4.1.2 Exercice A, mesure en surface : informations sur les vols de mesure

Date et heure : 03.06.2024, 11 h 58 – 12 h 13 (hauteur 70 m)  
12 h 23 – 12 h 36 (hauteur 140 m)

Lignes de vol : espacement des lignes d'environ 65 m, 14 lignes  
7 lignes parallèles ont d'abord été parcourues avec un  
espacement de 125 m, puis un compactage manuel a été effectué  
entre les lignes.

Durée du vol : 15 min à une hauteur de vol de 70 m/13 min à une hauteur de vol  
de 140 m

Zone survolée : 1,6 km<sup>2</sup> à une hauteur de vol de 70 m /2,1 km<sup>2</sup> à une hauteur de  
vol de 140 m

#### 4.1.3 Exercice A, mesure en surface avec une hauteur de vol de 70 m : débit de dose ambiant

La carte du débit de dose ambiant mesuré à 70 m d'altitude à la Figure 7 ne montre aucune  
anomalie. La ligne rouge foncé représente la trajectoire de vol, le point noir au milieu indique  
la position à laquelle le vol stationnaire de la tâche B a été effectué.

Les valeurs du DDA mesurées à 140 m d'altitude ne diffèrent pas de manière significative de  
celles détectées à 70 m au-dessus du sol. Elles ne sont par conséquent pas représentées sur  
une carte spécifique.

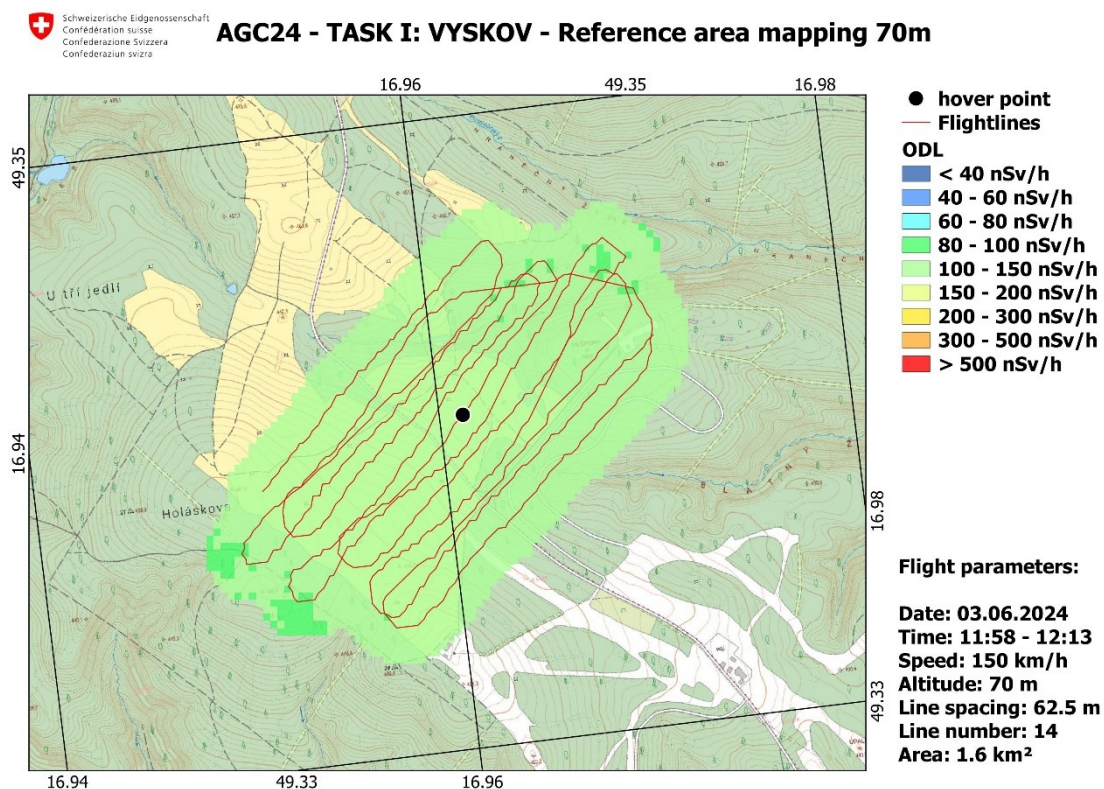


Figure 7 : carte du débit de dose ambiant (DDA) dans la zone de mesure de Vyškov, mesuré à  
une hauteur de vol de 70 m au-dessus du sol. Le point noir au centre de la zone indique  
l'endroit où le vol stationnaire demandé dans l'exercice B a été effectué.

#### 4.1.4 Exercice A, mesure en surface avec une hauteur de vol de 70 m : potassium K40

La carte du potassium K40 (Figure 8) n'indique aucune valeur suspecte. Des valeurs légèrement supérieures à la majeure partie de la surface mesurée, allant jusqu'à 600 Bq/kg, ont été détectées dans le secteur sud de la zone de mesure.

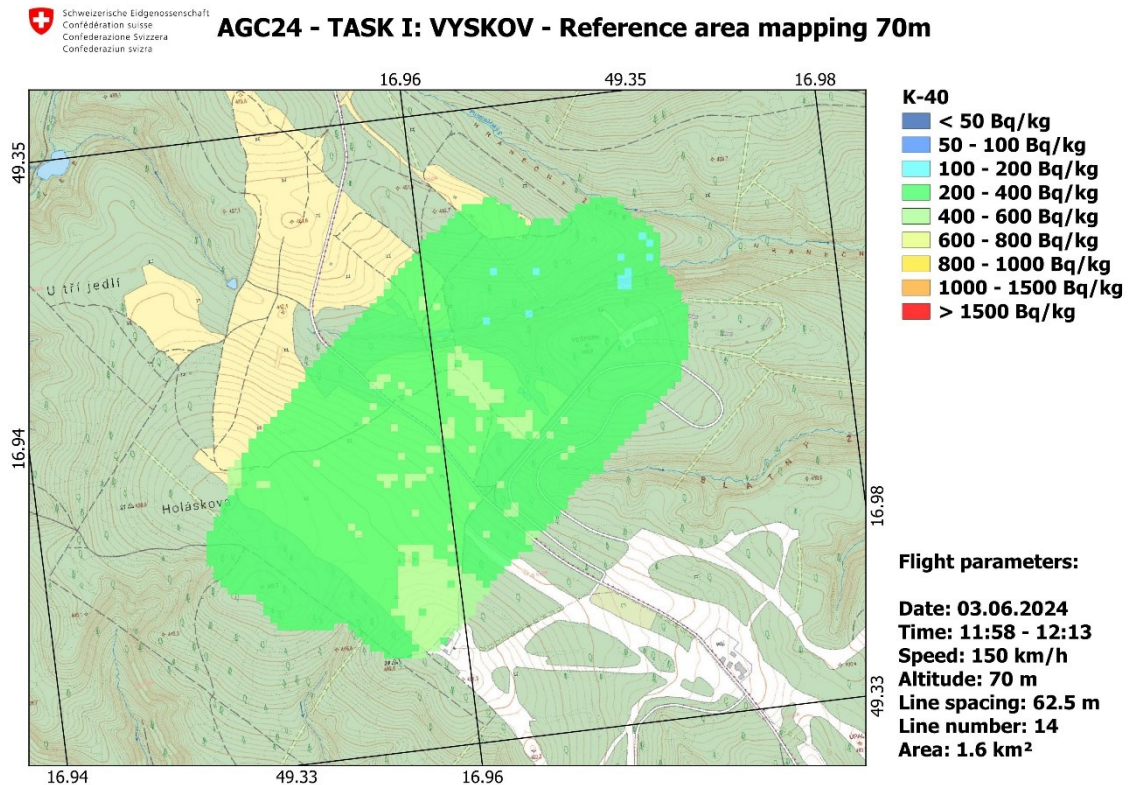


Figure 8 : carte du potassium K40 de la zone de mesure de Vyškov

#### 4.1.5 Exercice B, vols stationnaires : information sur le vol de mesure

Vol stationnaire au point indiqué sur la carte de la Figure 7, donc pas de lignes de vol ni de zone survolée.

Date et heure : 03.06.2024, 12 h 14 – 12 h 19 (hauteur 70 m)  
12 h 37 – 12 h 42 (hauteur 140 m)

Durée du vol : 5 min à une hauteur de 70 m / 5 min à une hauteur de 140 m

#### 4.1.6 Exercice B, vols stationnaires : spectre

Au point indiqué à la Figure 7, un vol stationnaire a été effectué à une hauteur de 70 m et un autre à une hauteur de 140 m. La durée du vol était à chaque fois de 5 minutes. Les spectres résultant de ces vols sont présentés à la 9. Le spectre mesuré à une hauteur de 70 m révèle des taux de comptage légèrement supérieurs à ceux du bruit de fond pour les énergies Th-232 de 583 keV et 2614 keV. Le spectre mesuré à une hauteur de 140 m se distingue moins nettement du spectre de fond.

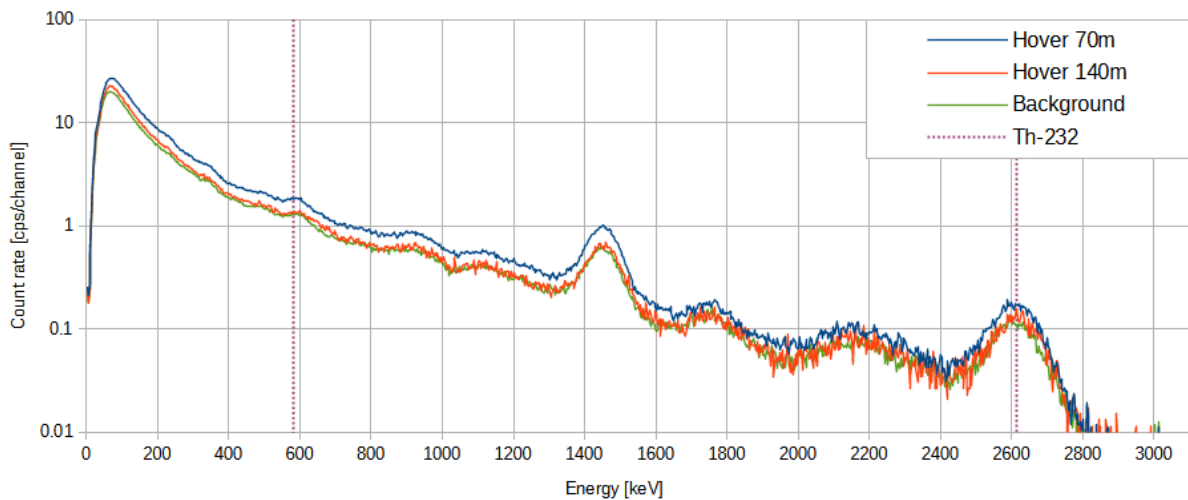


Figure 9 : spectre gamma enregistré au point défini pour la tâche II, enregistré à 70 m et à 140 m d'altitude. En comparaison, un spectre de fond.

## 4.2 Tâche II : zone de mesure à Vysočina

La région est située à env. 80 km à l'ouest de Přerov. La surface à mesurer était d'un peu plus de 23 km<sup>2</sup>.

### 4.2.1 Consignes de la direction de l'exercice

Hauteur : 100 m  
 Vitesse de vol : 100 km/h  
 Distance entre les lignes : choisie librement  
 Zone survolée : divisée en 3 secteurs, dont :  
 – 2 de priorité 1  
 – 1 de priorité 2  
 Durée du vol : durée totale pour la zone survolée 90 min maximum

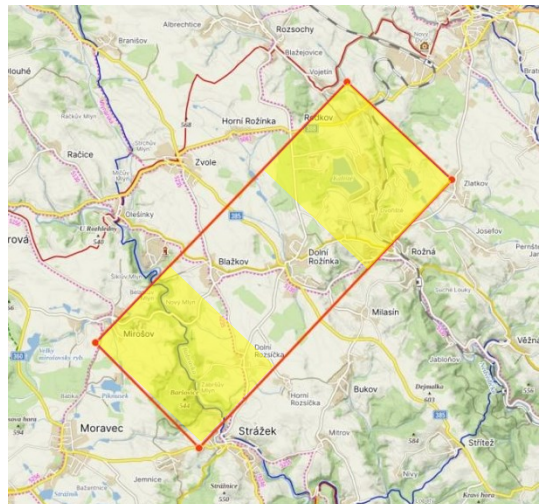


Figure 10 : Zone de mesure Vysočina ; en jaune, les zones prioritaires.  
 Source de l'image : mapy.cz

### 4.2.2 Informations concernant le survol radiométrique

Date et heure : 04.06.2024, 13 h 41 – 14 h 58  
 Lignes de vol : 13 couloirs de 250 m, de large et 13 lignes transversales  
 Durée du vol : 1 h 17 min  
 Zone survolée : 36 km<sup>2</sup>  
 Hauteur : env. 90 m





Figure 11 : photo prise depuis l'hélicoptère pendant le vol de mesure de la tâche II

#### 4.2.3 Vysočina : débit de dose ambiant

La carte de la Figure 12 affiche des valeurs de mesure élevées clairement visibles dans la partie nord de la zone de mesure. La mine d'uranium de Rožná est située dans la partie nord des deux secteurs de priorité 1 de la zone de mesure. La

Figure 13 montre, à gauche, une carte de cette zone nord et à droite une image satellite des alentours du puits d'extraction, des bassins de décantation (tailings) et de l'installation de traitement chimique ultérieur. Des débits de dose allant jusqu'à 0,955  $\mu\text{Sv/h}$  (microsievert par heure) ont été mesurés.

Les variations observées au sud sont dues à la géologie et à la topographie des cours d'eau, ainsi qu'à la végétation. La comparaison avec la carte du potassium K40 de la 16 ci-dessous montre une bonne concordance entre les zones où le DDA est bas et celles où les concentrations de K40 sont faibles.

#### 4.2.4 Vysočina : uranium 238

Des taux élevés d'uranium U-238 ont été mesurés à la mine d'uranium de Rožná, comme on peut le voir sur la Figure 14. Les valeurs mesurées ont atteint 1422 Bq/kg. Ces valeurs quantitatives doivent toutefois être relativisées, car le système est conçu pour détecter une contamination de grande surface, répartie de manière homogène. Le spectre cumulé représenté à la Figure 15 a été mesuré à proximité du puits R1. On peut observer les pics d'énergie du plomb Pb-214 et du bismuth Bi-214. Ces nucléides sont des produits de désintégration et, de ce fait, représentatifs de l'uranium.

Des valeurs légèrement plus élevées ont également été mesurées dans les environs plus larges du site de la mine. Les zones concernées sont situées à proximité de bâtiments probablement liés aux mines. Une partie de ces bâtiments se trouve dans le secteur central, dont le relevé était de priorité 2.

Dans la zone la plus au sud, également mesurée avec une priorité plus élevée, aucun uranium U-238 n'a été détecté.

## AGC24 - TASK II: VYSOCINA

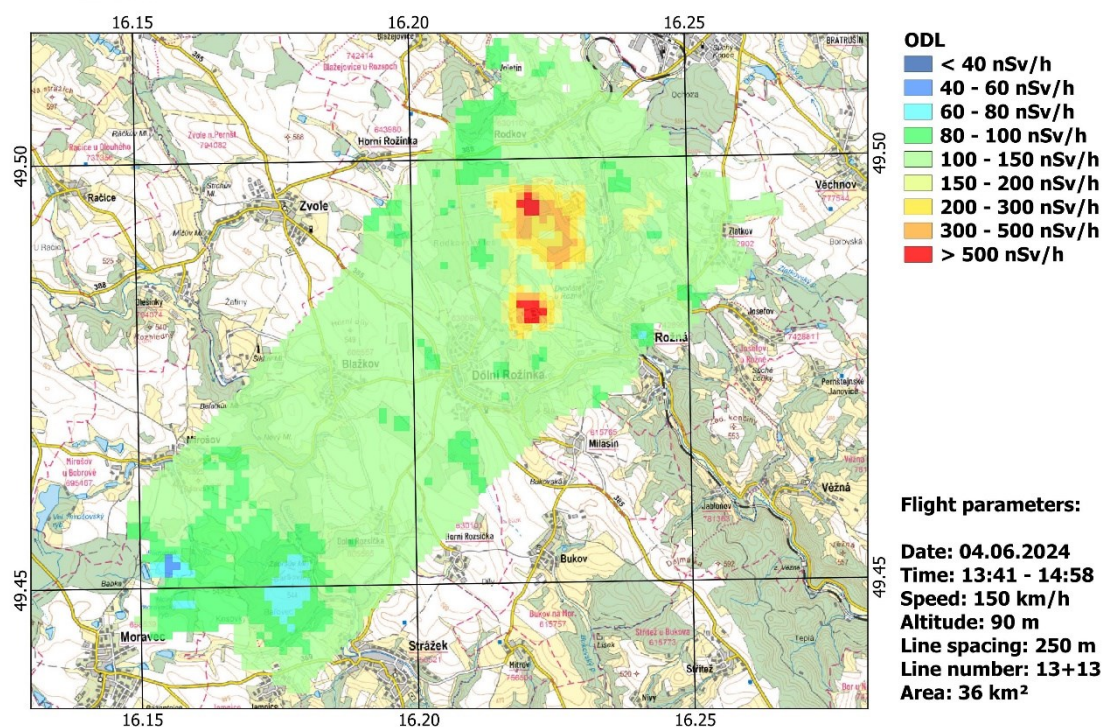


Figure 12 : carte de mesure du DDA de la zone de mesure Vysočina



Figure 13 : à gauche : carte du DDA du nord des trois secteurs de la zone de mesure  
à droite : image satellite de cette région avec les installations de la mine d'uranium de Rožná autour du puits d'extraction, des bassins de décantation (tailings) et de l'installation de traitement chimique ultérieur



## AGC24 - TASK II: VYSOCINA

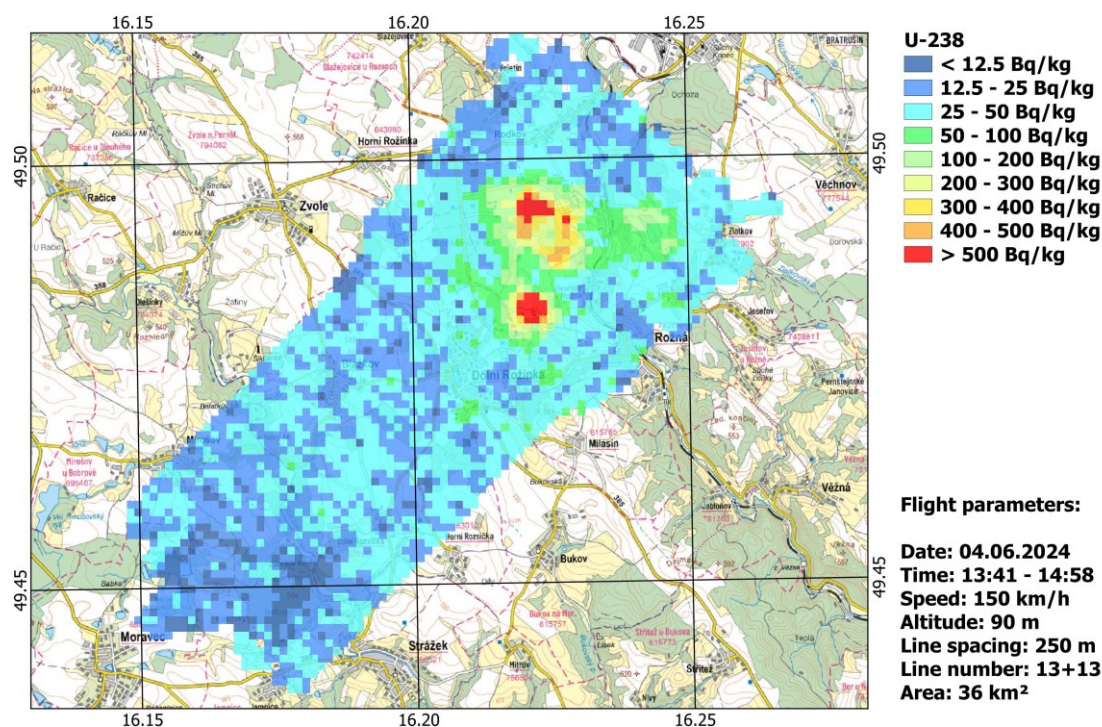


Figure 14 : carte de l'uranium U-238 de la zone de mesure de Vysočina

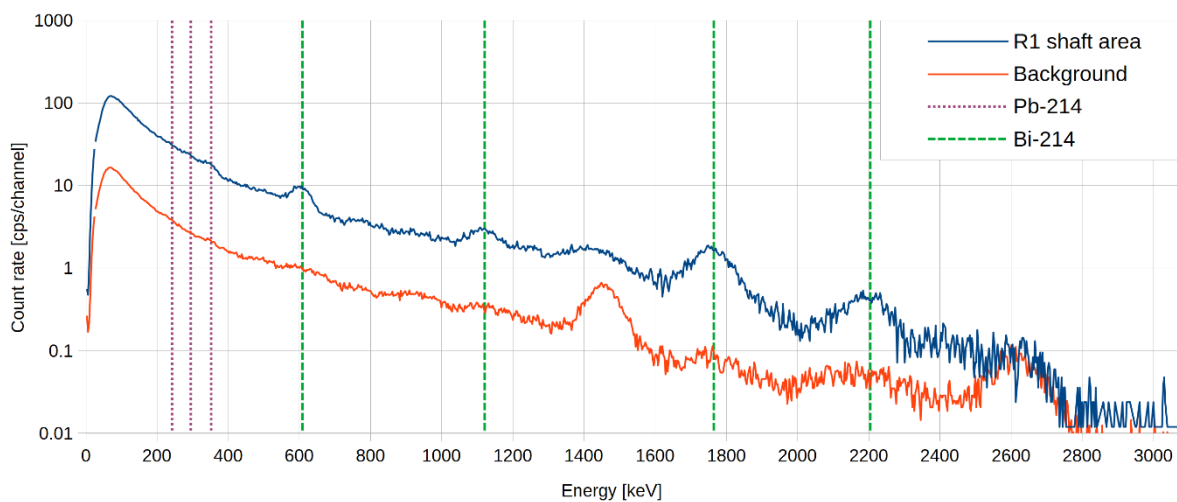


Figure 15 : spectre cumulé à la mine d'uranium de Rožná (à proximité du puits R1). On peut observer les pics d'énergie du produit de dégradation de l'uranium : le plomb Pb-214 et le bismuth Bi-214.

#### 4.2.5 Vysočina : potassium K40

La carte du potassium K-40 de la zone de mesure de Vysočina est représentée à la 16. Différents secteurs présentant des valeurs de K40 plus basses ont été identifiés. Les secteurs situés au nord correspondent à des plans d'eau artificiels, à savoir les bassins de décantation de la mine. Dans la partie sud de la zone de mesure, tout à l'ouest, se trouve un lac et donc une surface d'eau naturelle.

La plus grande surface bleue à l'est du lac, au sud, correspond probablement à une zone où les matériaux d'excavation radioactifs de la mine ont été recouverts.

Les valeurs de potassium K40 plus basses au sud de la zone de mesure sont en corrélation avec les zones de la Figure 12 où les valeurs du DDA sont plus basses.

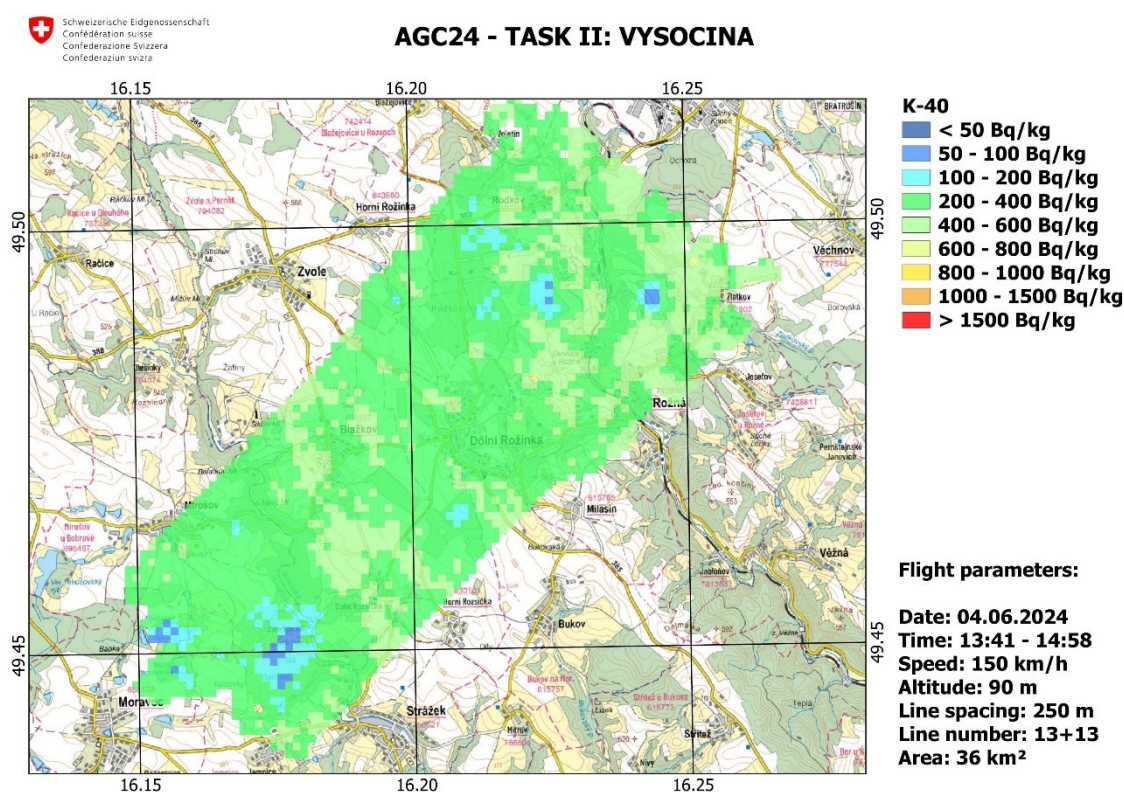


Figure 16 : carte du potassium K40 de la zone de mesure de Vysočina



#### 4.2.6 Vysočina : césium Cs-137

En plus des radionucléides naturels, un peu de césium Cs-137 a été détecté à proximité de la rivière Bobrůvka. Le secteur correspondant est marqué en rouge sur la carte du Cs-137 à la Figure 17. Le graphique à la Figure 18 représente un spectre gamma de ce secteur. Le nombre de comptages en dessous de l'énergie Cs-137 de 662keV est légèrement supérieur au bruit de fond. On constate ainsi des valeurs légèrement plus élevées de Cs-137, dues aux retombées de la catastrophe de Tchernobyl.

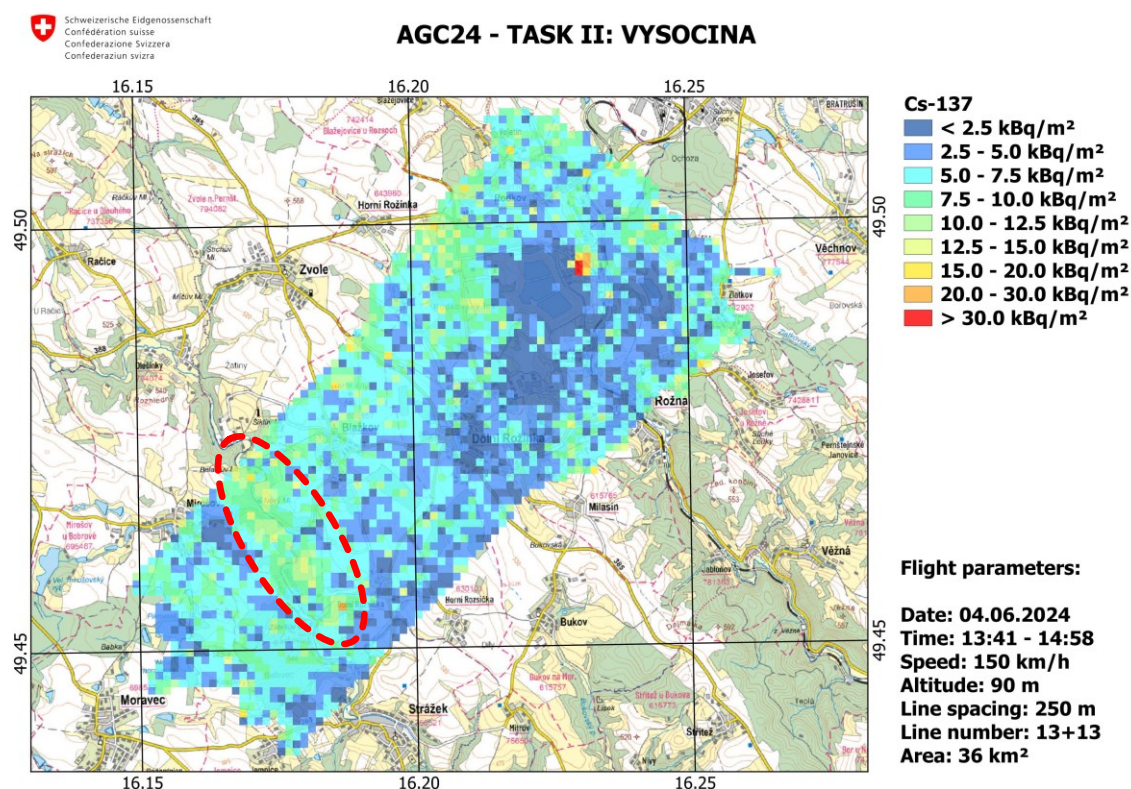


Figure 17 : carte du césium Cs-137 de la zone de mesure de Vysočina

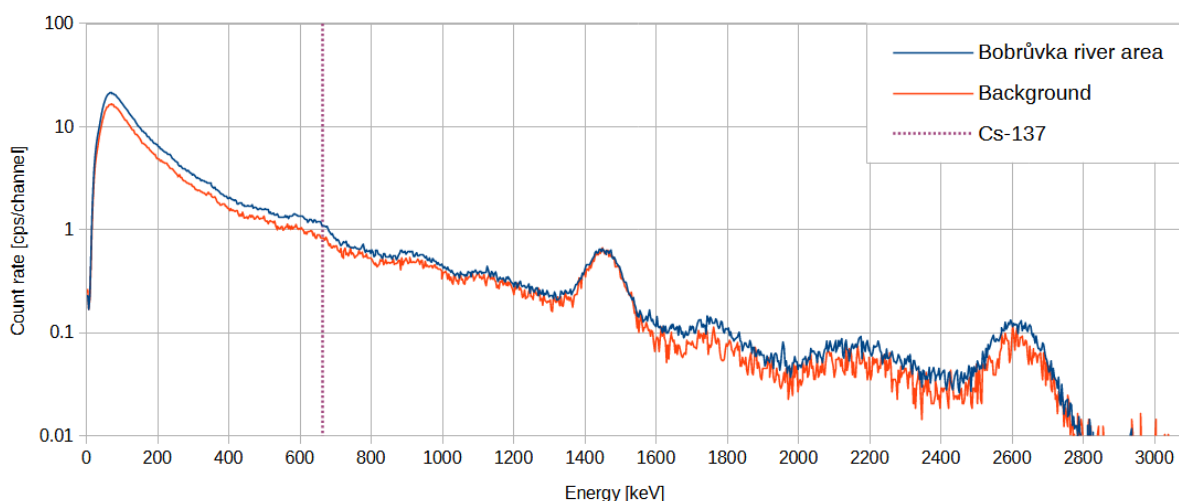


Figure 18 : spectre gamma de la zone où les valeurs de césium Cs-137 sont élevées, comparé à un spectre de fond (background)



### 4.3 Tâche IV : zone de mesure à Libavá

La région est située à env. 30 km au nord-est de Přešov. La surface à mesurer était d'env. 25 km<sup>2</sup>.

#### 4.3.1 Consignes de la direction de l'exercice

Hauteur :	100 m
Vitesse de vol :	100-120 km/h
Distance entre les lignes :	max. 250 m
Zone de mesure :	la ligne bleue était considérée comme une limite à ne pas franchir
Durée du vol :	durée totale pour la zone survolée 90 min maximum

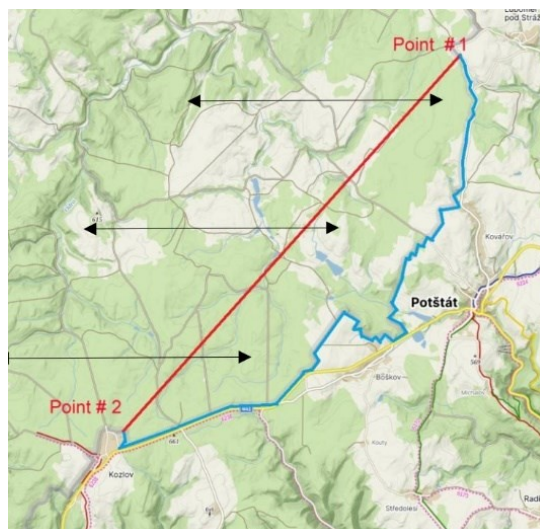


Figure 19 : zone de mesure Libavá, avec la limite à ne pas franchir lors du vol (ligne bleue), visible uniquement sur la carte  
Source de l'image : mapy.cz

#### 4.3.2 Libavá : informations sur le vol

Date et heure :	05.06.2024, 13h10 – 13h56 / 14h00 – 14h40
Lignes de vol :	9 couloirs de 250 m de large
Durée du vol :	1 h 26 min
Zone survolée :	27 km <sup>2</sup>
Hauteur :	env. 90 m



Figure 20 : photo prise depuis l'hélicoptère pendant le vol de mesure. Les vols de mesure ont permis de localiser des sources radioactives à proximité immédiate du camion.

#### 4.3.3 Libavá : débit de dose ambiant et MMGC

Pour la tâche IV, c'est-à-dire la mission à Libavá, la direction de l'exercice avait caché différentes sources qui devaient être trouvées avec l'ARM. Sur la carte du DDA à la Figure 21 et la carte MMGC à la Figure 22, les points correspondants affichant des valeurs élevées sont clairement visibles.

Comme on peut le voir sur la capture d'écran à la Figure 23, des radionucléides ont déjà pu être identifiés sur deux sites pendant le vol de mesure :

- Emplacement A (N 49.639, E 17.607) : Co-60 activité estimée à 4,2 GBq  
Cs-137 activité estimée à 1,3 GBq
- Emplacement B (N 49.613, E 17.560) : Cs-137 activité estimée à 0,48 GBq  
I-131 activité estimée à 0,69 GBq

Les spectres gamma mesurés aux emplacements A (Figure 24) et B (Figure 25) confirment la présence de ces radionucléides.

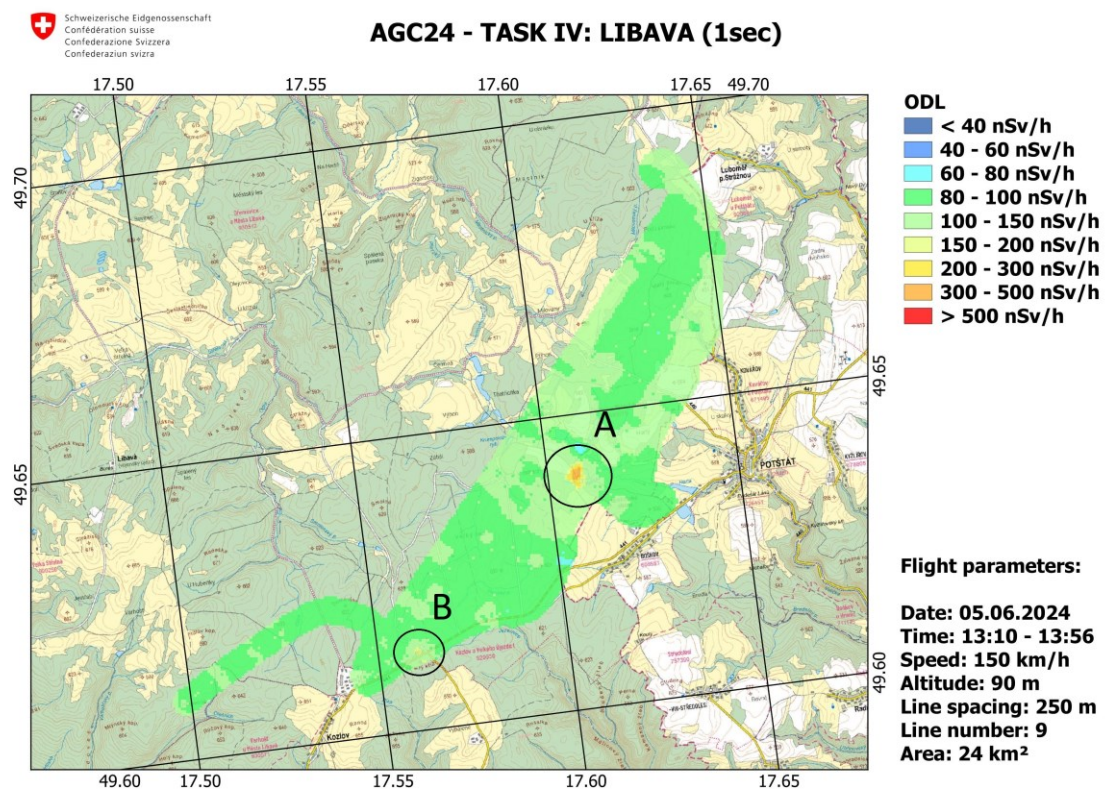


Figure 21 : carte du DDA de la région de Libavá, sur laquelle sont indiqués les deux emplacements A et B identifiés présentant un débit de dose accru



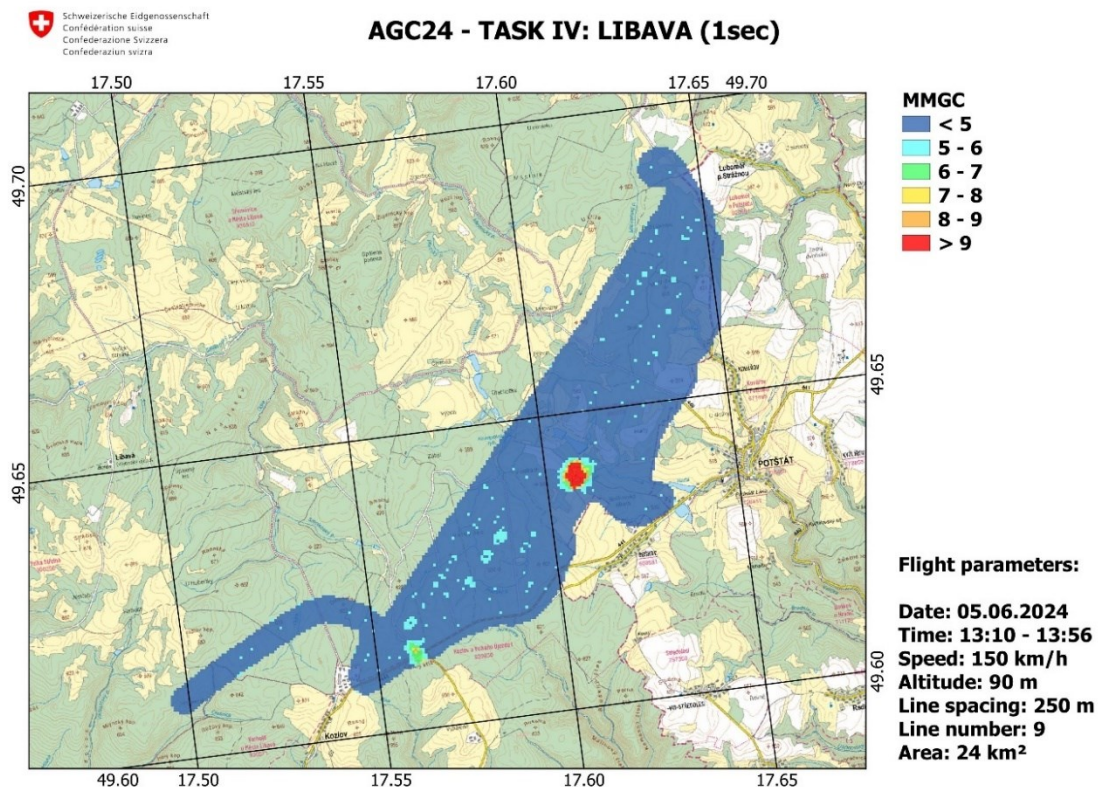


Figure 22 : carte MMGC de la région de Libavá ; les deux emplacements et la radioactivité élevée sont clairement visibles

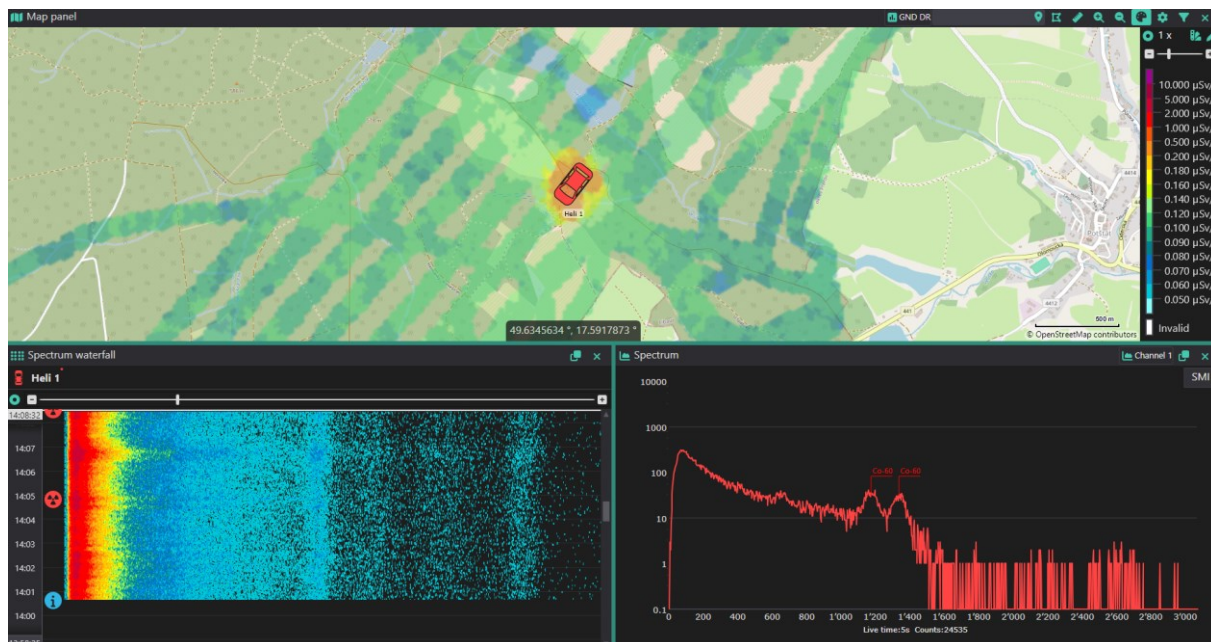


Figure 23 : une capture d'écran de la console de commande du système de mesure montre comment la source de Co-60 de l'emplacement A a pu être identifiée par les opérateurs pendant le vol

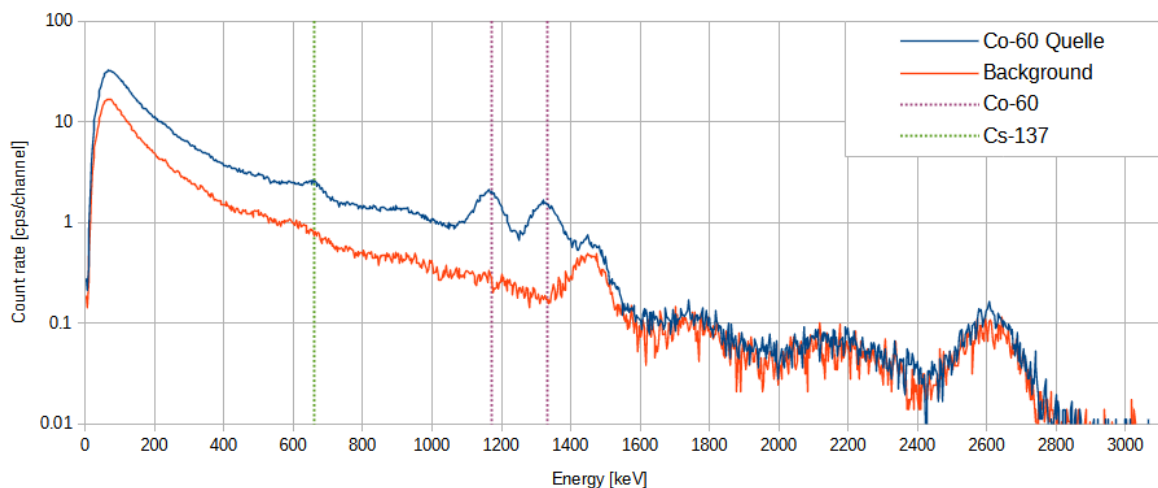


Figure 24 : spectre gamma enregistré à l'emplacement A. Les pics Co-60 à 1173 keV et 1332 keV sont très clairement visibles. Le pic de Cs-137 à 662 keV se distingue clairement du bruit de fond.

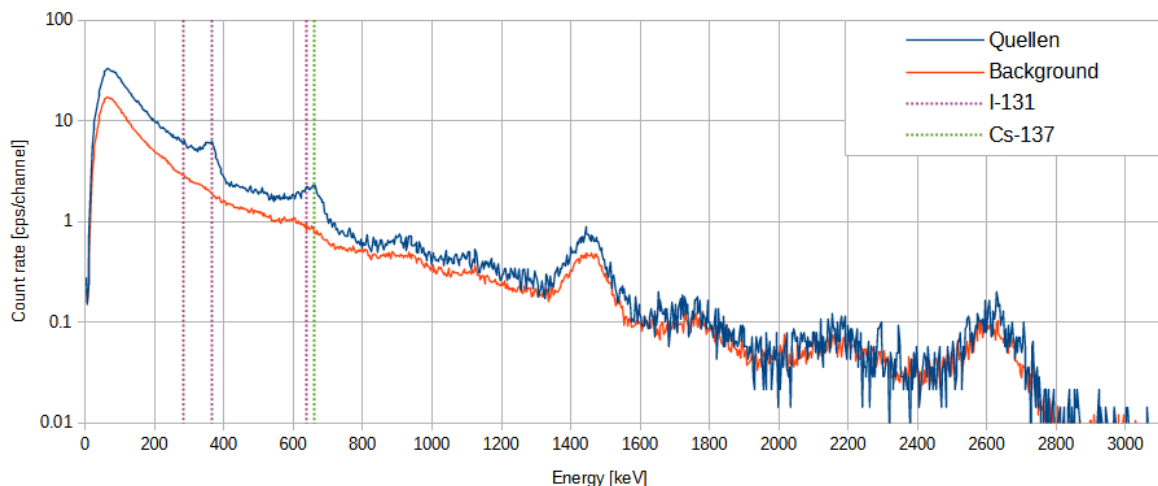


Figure 25 : spectre gamma enregistré à l'emplacement B. Le pic de Cs-137 à 663 keV se distingue clairement du bruit de fond. Le pic d'I-131 à 284 keV est faible et disparaît dans le bruit de fond, celui à 637 keV est couvert par le pic de Cs-137 à 663 keV, ce qui le rend également difficile à détecter. Le pic moyen d'I-131 à 364 keV est en revanche clairement visible.

Le temps et les réserves de carburant autorisés par la direction de l'exercice étant suffisants, la zone de mesure a été survolée une deuxième fois avec une autre configuration à des fins de formation et de test. Dans cette configuration, les mesures individuelles sont moyennées sur 5 secondes, ce qui est particulièrement utile pour l'identification des nucléides et la recherche de sources. Cette méthode a permis en effet de localiser rapidement les deux sites et d'identifier les quatre radionucléides.

La consigne de l'exercice, à savoir que la limite territoriale sud-est ne devait pas être dépassée, a pu être respectée par les pilotes, à une petite exception près. Celle-ci n'était pas imputable aux compétences des pilotes, mais au fait que lors du report manuel de cette ligne de frontière compliquée sur la carte numérique, un point avait été omis et que les pilotes voyaient donc un tracé de la limite légèrement différent sur leur carte. Dans la nature, la limite prédéfinie était identifiée visuellement.



## AGC24 - TASK IV: LIBAVA (1sec)

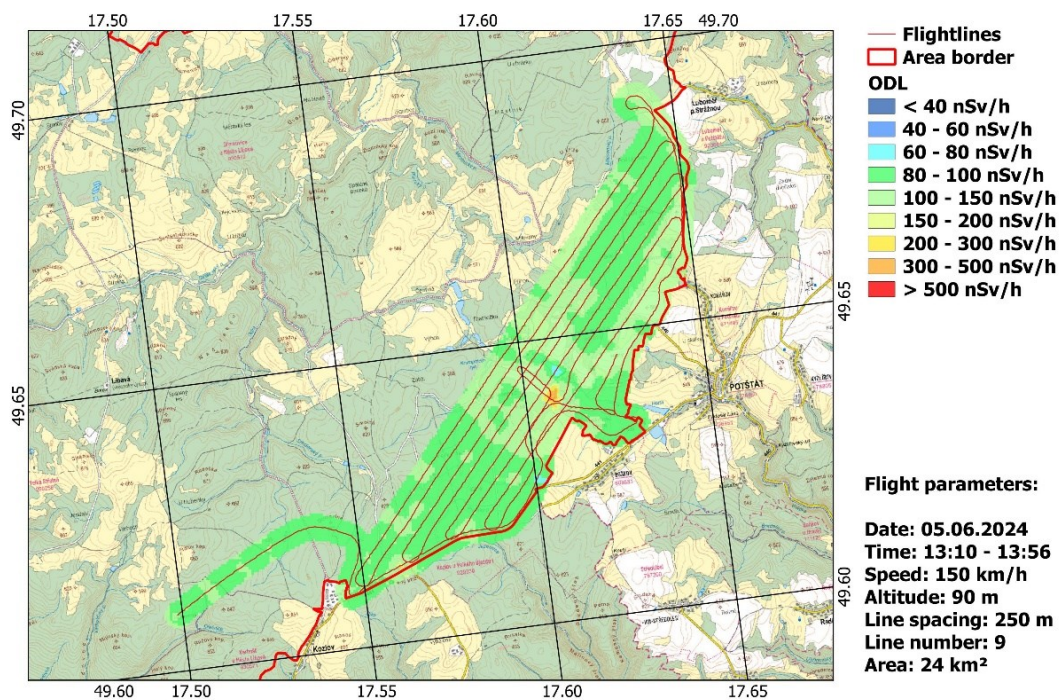


Figure 26 : lignes de vol et carte du DDA du premier passage au-dessus de la zone de mesure de Libavá ; ce passage a été effectué en utilisant les valeurs de mesure non moyennées sur 1 seconde

## AGC24 - TASK IV: LIBAVA (5sec)

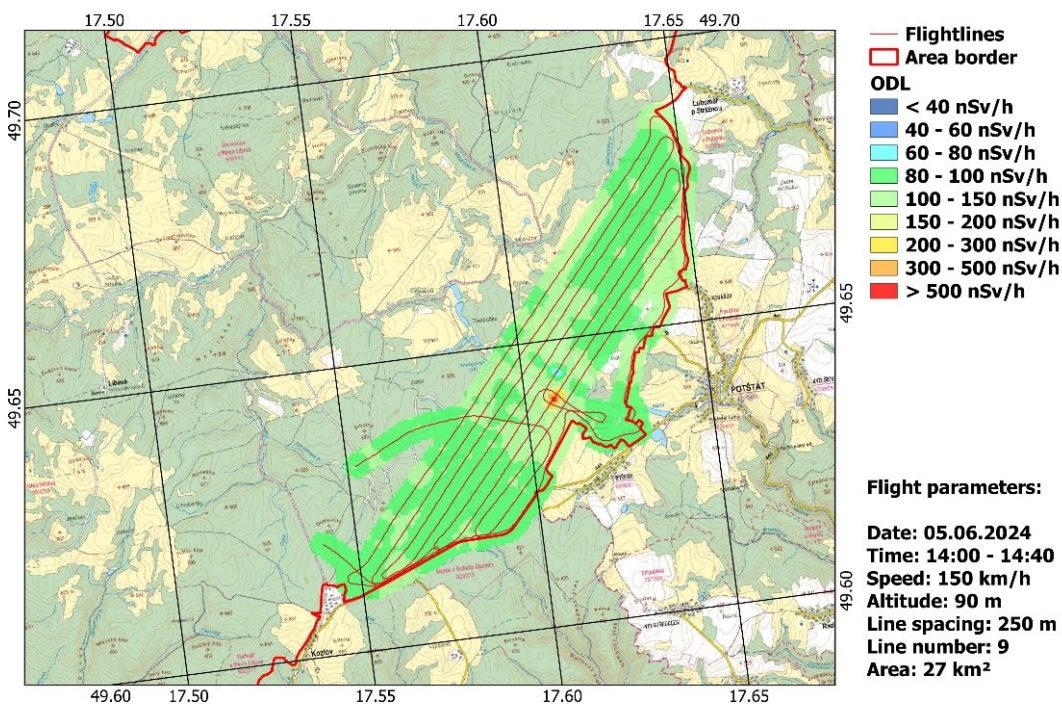


Figure 27 : lignes de vol et carte du DDA du premier passage au-dessus de la zone de mesure de Libavá ; ce passage a été effectué en utilisant les valeurs de mesure moyennées sur 5 secondes

#### 4.4 Tâche III : zone de mesure à Opavsko

La région est située à env. 60 km au nord-est de Přerov. La surface à mesurer était d'env. 220 km<sup>2</sup>.

##### 4.4.1 Consignes de la direction de l'exercice

Hauteur : max. 150 m

Zone de mesure : polygone inscrit en rouge sur la carte (les coordonnées des coins du polygone ont été communiquées avec les consignes) ; surface d'env. 220 km<sup>2</sup>



Figure 28 : la zone de mesure d'Opavsko, qui couvre au total env. 22 km<sup>2</sup>, a dû être répartie entre les équipes et mesurée dans le cadre d'un exercice consistant à établir une carte commune (composite mapping)  
Source de l'image : mapy.cz

La vitesse de vol et la distance entre les lignes de vol devaient être déterminées par les équipes elles-mêmes.

Durée du vol : durée de vol dans la zone examinée établie sur la base de la durée maximale de vol de chaque hélicoptère



Figure 29 : hélicoptères suisse et tchèque, photographiés depuis l'hélicoptère français pendant le vol vers la zone de mesure

La division de la zone de mesure est inscrite sur la carte géographique à la Figure 30. L'équipe tchèque a suivi les lignes sur fond jaune dans la partie nord, l'équipe française, les lignes sur fond bleu dans la partie sud et l'équipe suisse les lignes sur fond rouge au centre de la zone de mesure.



#### 4.4.2 Opavsko : informations sur le vol

Date et heure : 06.06.2024, 10h27 – 12h22  
Lignes de vol : 15 couloirs de 250 m de large  
Durée du vol : 1 h 55 min  
Zone survolée : équipe suisse : 80 km<sup>2</sup> / toutes les équipes : 220 km<sup>2</sup>  
Hauteur : env. 90 m

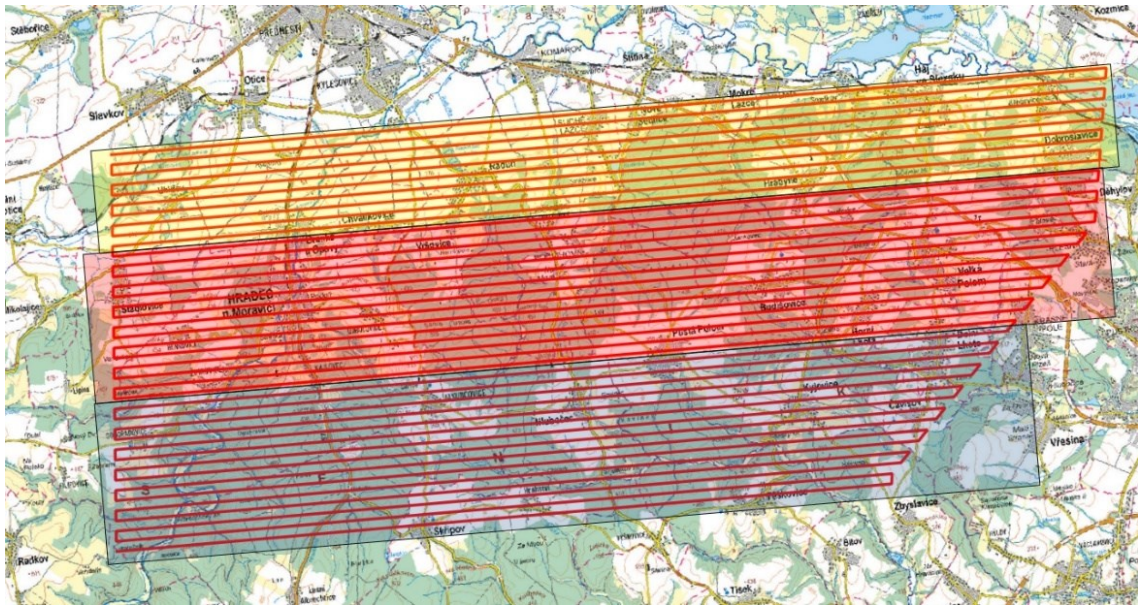


Figure 30 : division de la zone de mesure et lignes de vol définies par les équipes ; les lignes surlignées en jaune ont été parcourues par l'équipe tchèque, celles surlignées en rouge par l'équipe suisse et celles surlignées en bleu par l'équipe française

#### 4.4.3 Opavsko : débit de dose ambiant

La carte du débit de dose ambiant (DDA) à la Figure 31 affiche des valeurs normales. Un petit secteur au sud de la zone de mesure présente des valeurs de DDA légèrement plus élevées, de l'ordre de 200 à 300 nSv/h, qui s'expliquent par la présence d'une carrière de roches faiblement radioactives à l'état naturel. Les variations observées dans la région survolée sont dues à la géologie, à la topographie, aux cours d'eau et à la végétation.

## AGC24 - TASK III: OPAVSKO - Composite mapping

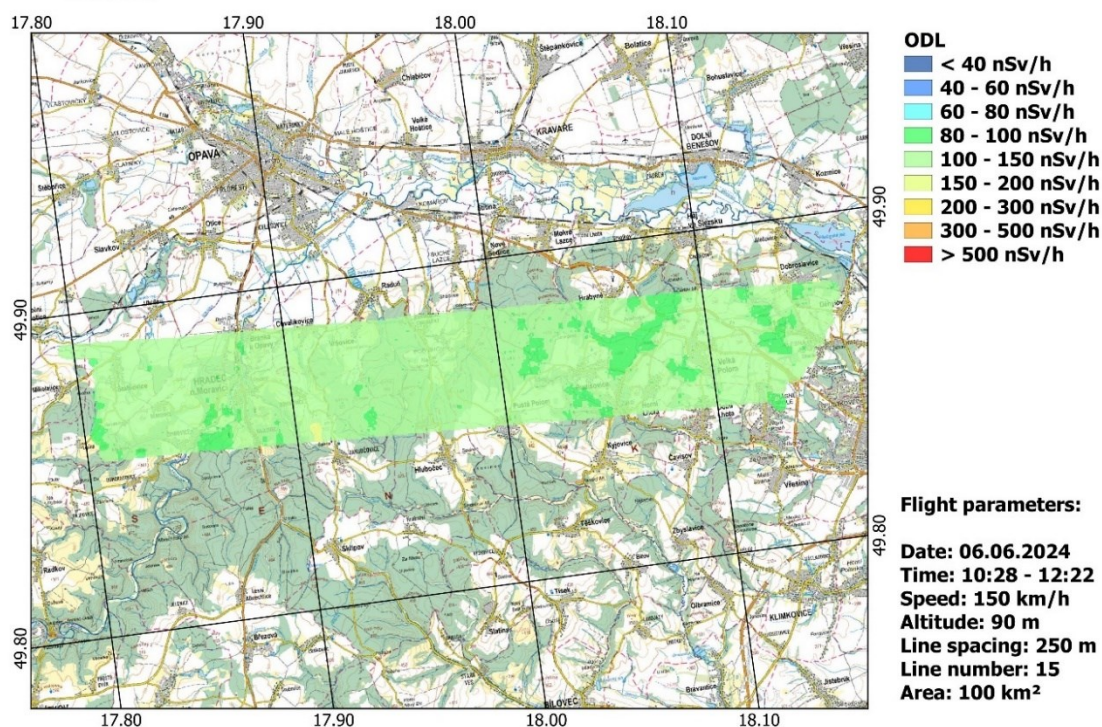


Figure 31 : carte du DDA du secteur de la zone de mesure d'Opavsko attribué l'équipe suisse.

### 4.4.4 Opavsko : rapport MMGC

La carte à la Figure 32 représente le rapport entre les deux extrémités du spectre énergétique. Les radionucléides artificiels produisant en général uniquement des rayonnements gamma faiblement énergétiques, ce rapport est souvent utilisé comme indicateur du rapport entre le rayonnement artificiel et le rayonnement naturel et est appelé « Man made gross count (MMGC) ».

### 4.4.5 Opavsko : césium Cs-137

Les zones présentant des concentrations élevées sont clairement visibles sur la carte du Cs-137 à la Figure 33. Des valeurs comprises entre 12 500 et 30 000 Bq/m² ont été détectées. Ces valeurs sont dues aux dépôts de césium suite à l'accident nucléaire de Tchernobyl en 1986.

### Cs-137 et MMGC

La comparaison entre la Figure 32 et la Figure 33 montre que les zones présentant des valeurs de Cs-137 plus élevées sont bien corrélées avec celles pour lesquelles on a généralement déterminé un rapport MMGC plus élevé. Le spectre cumulé représenté par le graphique à la Figure 34 a été créé au-dessus d'une telle zone. Il démontre clairement la présence de césium Cs-137.



### AGC24 - TASK III: OPAVSKO - Composite mapping

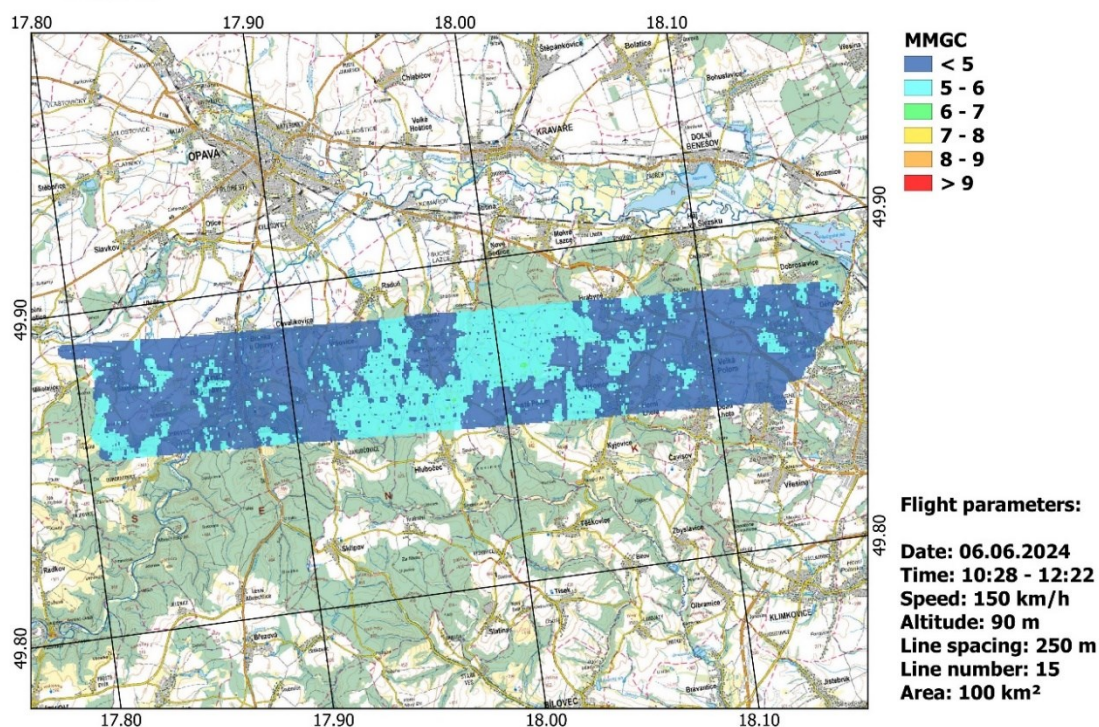


Figure 32 : carte MMGC du secteur de la zone de mesure d'Opavsko attribué à l'équipe suisse

### AGC24 - TASK III: OPAVSKO - Composite mapping

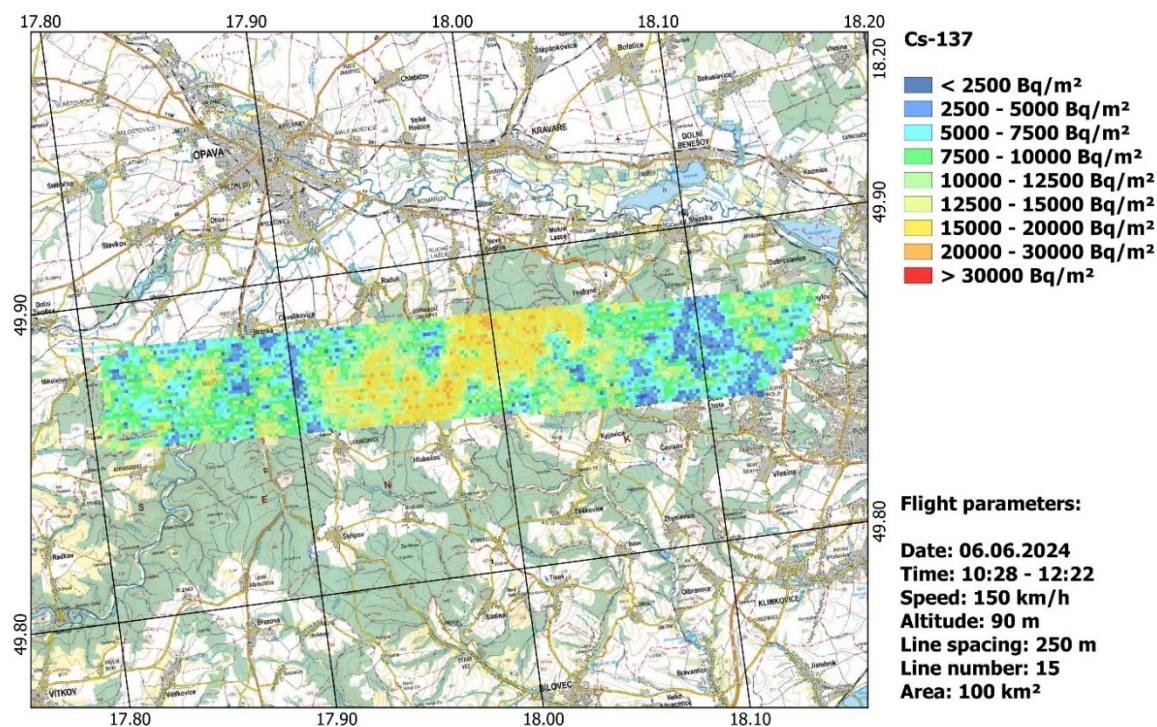


Figure 33 : carte du Cs-137 du secteur de la zone de mesure d'Opavsko attribué à l'équipe suisse

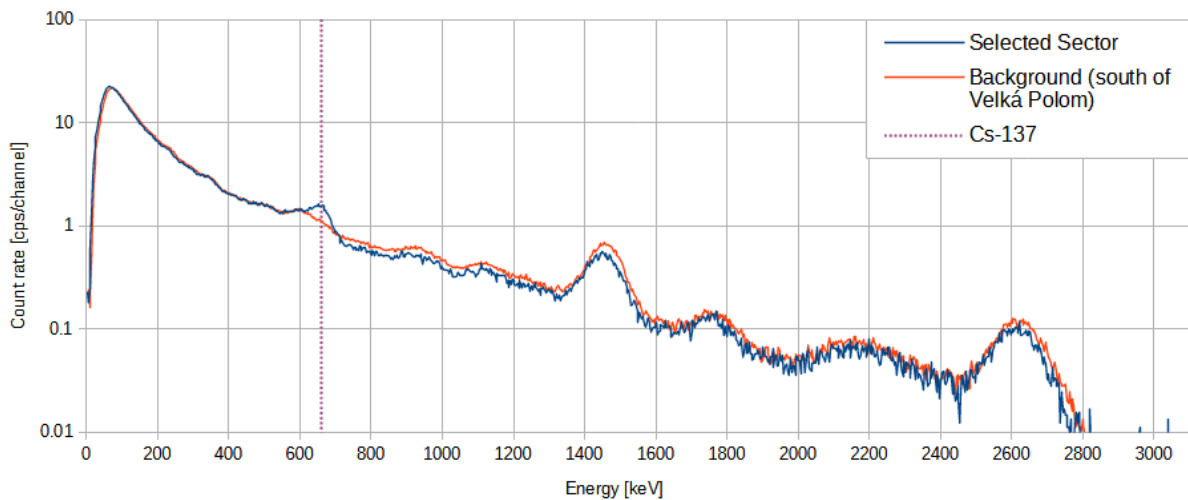


Figure 34 : spectre cumulé d'une zone d'activité Cs-137 plus élevée, comparé au bruit de fond à proximité de cette mesure ; la zone survolée est indiquée sur la capture d'écran à la Figure 35.

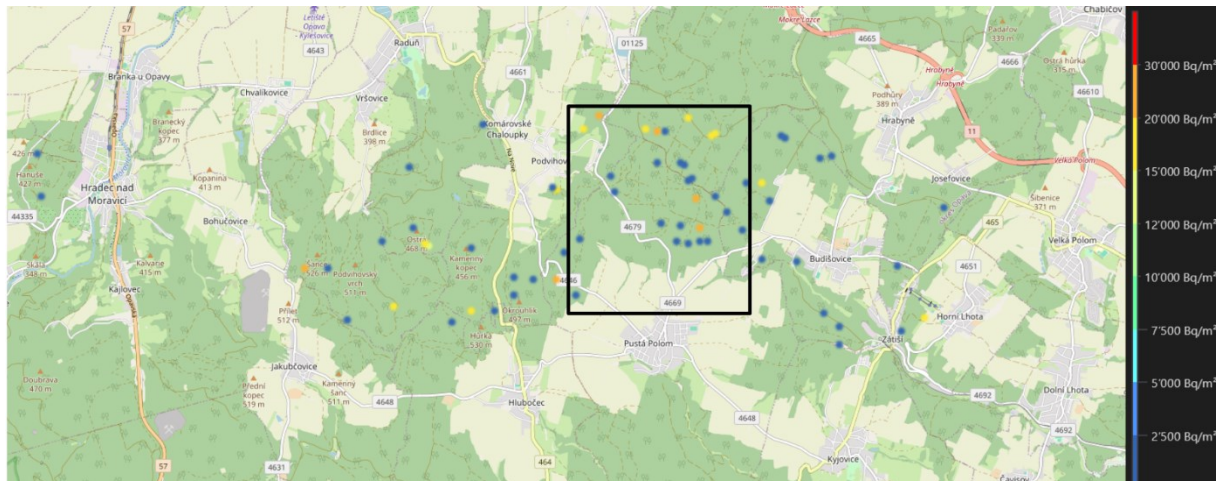


Figure 35 : activité de surface du Cs-137, représentée par le logiciel d'évaluation (Spir Replay de Mirion) Les points représentent les emplacements où du Cs-137 a été identifié de manière spécifique au nucléide.

#### 4.4.6 Opavsko : potassium K40

Dans le secteur où des valeurs de DDA légèrement plus élevées ont été identifiées à la Figure 31 à la limite sud de la zone de mesure, la carte du potassium K-40 à la Figure 36 présente également des valeurs plus élevées. Comme mentionné ci-dessus, ces valeurs sont dues à la présence d'une carrière à cet endroit. Les variations de K40 observées dans la région survolée sont dues à la géologie, à la topographie, aux cours d'eau et à la végétation.



# AGC24 - TASK III: OPAVSKO - Composite mapping

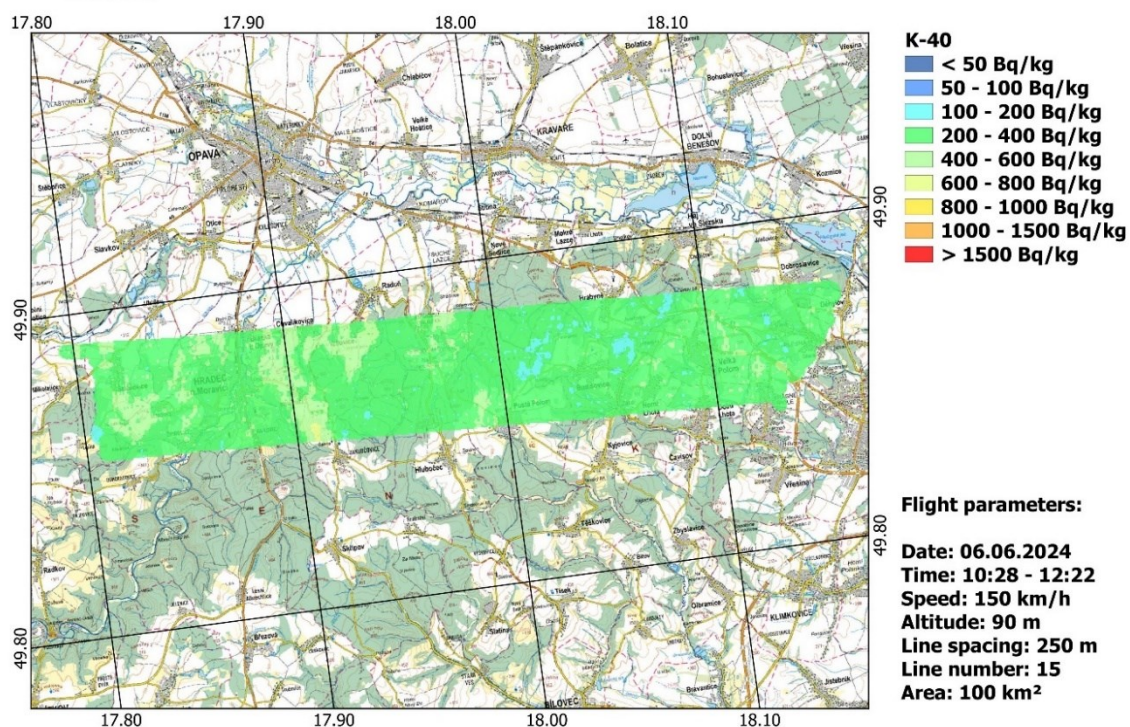


Figure 36 : carte du secteur de la zone de mesure d'Opavsko attribué à l'équipe suisse

## 5 Bilan

- Les objectifs fixés pour la semaine d'exercice d'aéroradiométrie 2024 ont été atteints. Le programme de mesures standard prévu dans les environs de la CN L, de la CN B et du PSI a été réalisé avec succès, mais il a fallu renoncer à certains vols en raison des conditions météorologiques parfois défavorables et du manque de temps.
- Les participants à la campagne internationale de mesure en Tchéquie ont eu à effectuer des tâches exigeantes et ont eu l'occasion de mesurer des zones intéressantes sur le plan radiologique (p. ex. une mine d'uranium ou des contaminations survenues après l'accident nucléaire de Tchernobyl).
- La recherche de sources a posé un défi de taille : quatre sources étaient réparties sur deux emplacements et les pilotes devaient respecter une ligne de frontière fictive qui ne devait pas être survolée. Les opérateurs devaient interpréter les résultats des mesures en temps réel, évaluer la situation, élaborer un plan et le mettre en œuvre immédiatement. La communication entre les opérateurs et l'équipe au sol ainsi que les pilotes a ainsi également été entraînée.
- Plusieurs zones ont été mesurées avec deux configurations différentes afin d'identifier leurs points forts et faibles.
- Les campagnes internationales de mesure sont importantes, puisqu'elles permettent aux participants de s'entraîner à des interventions communes et d'échanger leurs expériences avec les partenaires internationaux. La connaissance mutuelle des stratégies de mesure, des caractéristiques des données de mesure et des méthodes d'évaluation est essentielle pour une collaboration efficace.
- Les procédures de contrôle permettant d'assurer l'identification et la résolution rapides des problèmes ont été mises en pratique et modifiées.
- Le soutien du Centre de compétences NBC-DEMUNEX a permis d'acquérir de nouvelles expériences et de tirer des enseignements précieux. Ainsi, les procédures autour du système ARM ont été optimisées, comme les calculs pour estimer l'activité des sources.
- Les processus de présentation des résultats de mesure ont été vérifiés, mis en pratique et optimisés.
- Les spécialistes des mesures, les techniciens et les pilotes de l'équipe d'aéroradiométrie possèdent tous un excellent niveau de formation et d'entraînement.

## **Annexe A : Généralités**

### **Comment fonctionne l'aéroradiométrie ?**

La [fiche technique d'aéroradiométrie](#) donne une description détaillée de la méthode de mesure et de l'équipement utilisé.

### **Évaluation des données aéroradiométriques**

La méthode d'évaluation des données aéroradiométriques est décrite dans SCHWARZ, G.F., 1991 : Methodische Entwicklungen zur Aerogammaspektrometrie (Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geophysik Nr. 23, Commission suisse de géophysique).

Dans la pratique, on utilise souvent une procédure simple pour évaluer les mesures aéroradiométriques directement sur le terrain. Deux méthodes ont fait leurs preuves :

1. Rapport MMGC : cette méthode est fondée sur la détermination du rapport entre les deux extrémités du spectre énergétique. Les radionucléides radioactifs artificiels produisant en général uniquement des rayonnements gamma faiblement énergétiques, ce rapport correspond à peu près au rapport entre le rayonnement artificiel et le rayonnement naturel.
2. Évaluation du débit de dose ambiant : la somme des produits du taux de comptage et de l'énergie du canal sur tous les canaux du spectre énergétique est proportionnelle au débit de dose à l'emplacement du détecteur. De ce débit de dose, on soustrait le bruit de fond du détecteur (environ 2 nSv/h) et le débit de dose dû au rayonnement cosmique (mesuré par un canal de comptage spécifique pour les photons de haute énergie), ce qui donne le débit de dose terrestre à l'emplacement du détecteur. Le débit de dose ambiant terrestre est ensuite calculé par une correction exponentielle de l'altitude de vol à un mètre au-dessus du sol. L'estimation du débit de dose ambiant total se fait en ajoutant le débit de dose cosmique à un mètre du sol, qui est calculé par la formule de l'altitude des rayons cosmiques.

Lors de l'interprétation des cartes aéroradiométriques, il convient de tenir compte du fait que les mesures effectuées en vol à une hauteur de 90 m représentent une valeur moyenne sur une surface de 300 m x 300 m (90 000 m<sup>2</sup>). À titre de comparaison, les mesures au sol ne couvrent qu'une surface de 80 m<sup>2</sup>.

### **Résultats des mesures effectuées aux alentours des centrales nucléaires**

Les installations nucléaires suisses peuvent être détectées grâce à leur rayonnement direct, à l'exception des CN de Beznau et de Gösgen (réacteurs à eau pressurisée). Le champ de rayonnement se limite à l'aire des installations nucléaires. On ne détecte pas de radioactivité artificielle plus élevée aux alentours.

Au PSI, on mesure le rayonnement dû à l'accélérateur (PSI-Ouest) et celui dégagé par les déchets radioactifs (dépôt intermédiaire fédéral, PSI-Est).

Dans les réacteurs à eau bouillante (CN M et CN L), le produit d'activation <sup>16</sup>N parvient à la salle des machines avec la vapeur. Le toit de cette salle étant relativement peu blindé, le rayonnement gamma du <sup>16</sup>N peut être très bien détecté de l'extérieur. Les CN équipées de réacteurs à eau pressurisée (CN G et CN B) diffusent un très faible rayonnement total et ne sont généralement pas visibles sur la carte.

En dehors du périmètre clôturé des centrales nucléaires, on ne constate aucune augmentation de la radioactivité artificielle qui ne puisse s'expliquer par Tchernobyl ou les essais nucléaires militaires des années 1960. Le niveau d'activité dans les alentours des CN est resté constant ces quinze dernières années.