



Cristina Poretti, Adrian Hess, Gerald Scharding

17 juin 2022

Exercice d'aéroradiométrie 2022

du 13 au 17 juin 2022

Rapport d'exercice et résultats des mesures

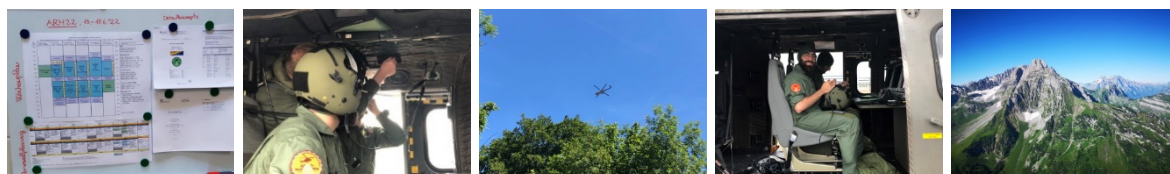


Table des matières

1	Condensé	3
2	Exercice d'aéroradiométrie 2022	4
2.1	Vols de mesure aux alentours des centrales nucléaires suisses	4
2.2	Mesure de la ville de Coire, de la région située au nord et au nord-est de l'aéroport de Zurich, ainsi que de la partie nord-ouest de la chaîne montagneuse entre Pfannenstiel et le Zürichberg	4
2.3	Zones présentant un intérêt scientifique dans les cantons de Saint-Gall et des Grisons	4
2.4	Vols d'essai dans le cadre d'un exercice avec l'Institut Paul Scherrer PSI	5
2.5	Objectifs généraux de l'équipe d'aéroradiométrie	5
2.6	Information de la population, des médias et des autorités.....	5
2.7	Rapport scientifique	6
2.8	Organisations partenaires participantes.....	6
3	Résultats des mesures.....	8
3.1	Programme de mesure standard au voisinage des installations nucléaires des CN L et CN B, du PSI et du ZWILAG	8
3.2	Zone à forte radioactivité naturelle de la vallée de Weisstannen.....	12
3.3	Vallée de Rheinwald, val Mesolcina et val Calanca.....	14
3.4	Mesure de la ville de Coire	17
3.5	Région située au nord-est de l'aéroport de Zurich et partie nord de la chaîne montagneuse entre Pfannenstiel et le Zürichberg	20
3.6	Vols d'essai dans le cadre d'un exercice avec l'Institut Paul Scherrer (PSI).....	25
4	Enseignements.....	30
	Annexe A : Généralités.....	31

1 Condensé

Le premier jour de la campagne annuelle de mesures aéroradiométriques de la Centrale nationale d'alarme (CENAL), le programme standard a été effectué aux alentours des centrales nucléaires de Beznau (CN B) et de Leibstadt (CN L). Le deuxième jour, des vols de mesure ont été effectués au-dessus de la ville de Coire ainsi que du val Mesolcina et du val Calanca. Ces zones présentent un intérêt scientifique. En milieu de semaine, la région située au nord-est de l'aéroport de Zurich et les environs des localités de Witikon, Zollikerberg et Zumikon, à l'est du lac de Zurich, ont été survolés dans le cadre du programme de mesure à long terme des zones à forte densité de population et des environs d'infrastructures critiques. À la fin de la semaine de mesures, un exercice d'une journée entière a eu lieu sur la place d'armes de Thoun en collaboration avec l'Institut Paul Scherrer (PSI).

Principaux résultats de l'exercice d'aéroradiométrie 2022 :

1. Des cartes de mesures radiologiques ont pu être établies pour toutes les régions survolées. Aucune valeur inhabituelle n'a été constatée.
2. Les mesures de contrôle ont pu être effectuées en collaboration avec l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) aux environs des centrales nucléaires de Beznau et de Leibstadt. Aucune valeur accrue par rapport à la radioactivité naturelle du sous-sol n'a été relevée sur les sites d'exploitation ni à l'extérieur de ceux-ci. Aucun changement n'a été observé par rapport aux résultats des mesures des années précédentes.
3. Dans le cadre du programme de mesurages urbains, les mesures de référence ont pu être réalisées à Coire, dans la région située au nord-est de l'aéroport de Zurich et aux environs des localités de Witikon, Zollikerberg et Zumikon.
4. Dans le val Mesolcina et le val Calanca, les résultats des mesures correspondent aux valeurs attendues dans les vallées alpines. Des traces de l'isotope césium ^{137}Cs ont été détectées de justesse lors de l'analyse détaillée des spectres énergétiques mesurés. Ces dépôts de césium sont dus au transport de matières radioactives suite à l'accident nucléaire de Tchernobyl en 1986.
5. En collaboration avec le PSI, de précieuses valeurs de mesure ont pu être enregistrées lors d'un exercice sur la place d'armes de Thoun. Elles serviront à mettre au point une nouvelle calibration numérique du système d'aéroradiométrie dans le cadre d'une thèse de doctorat.
6. Grâce aux vols de mesure et aux exercices intensifs et ciblés au sol, l'équipe d'aéroradiométrie a pu élargir et consolider ses connaissances. Une certaine routine s'installe progressivement dans le maniement du système de mesure et l'évaluation au sol.
7. 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 2022

Cette année, les mesures aériennes ont eu lieu du 13 au 17 juin. La base aérienne de Dübendorf servait de point de départ et d'arrivée pour la plupart des vols. En outre, l'hélicoptère a fait une escale à Magadino le mardi 14 juin et à Thoune le jeudi 16 juin.

2.1 Vols de mesure aux alentours des centrales nucléaires suisses

Toutes 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.

2.2 Mesure de la ville de Coire, de la région située au nord et au nord-est de l'aéroport de Zurich, ainsi que de la partie nord-ouest de la chaîne montagneuse entre Pfannenstiel et le Zürichberg

Depuis plusieurs années, la CENAL déploie un programme de mesurages urbains, dans le cadre duquel les plus grandes villes et communes suisses sont survolées, ainsi qu'un programme de mesure des zones à forte densité de population et des environs d'infrastructures critiques. Ces programmes visent à obtenir des valeurs de référence à titre préventif pour les cas de suspicion de radioactivité augmentée à la suite d'un événement entraînant des vols de mesure. La comparaison des données de mesure collectées après l'événement avec les mesures de référence permet de détecter plus facilement les écarts.

Grâce au survol de Coire, la CENAL dispose désormais de cartes de mesure de nombreuses communes suisses, y compris des 17 plus grandes villes. En outre, la carte des zones ayant déjà fait l'objet de mesures aéroradiométriques a été complétée par la région située au nord et au nord-est de l'aéroport de Zurich-Kloten, depuis les communes de Bassersdorf et Bülach jusqu'à la frontière nord du pays entre Rhodanie et Glaris, y compris le Rapperswil, et par la partie nord de la chaîne Pfannenstiel-Zürichberg avec les localités de Zumikon, Zollikon et Witikon.

2.3 Zones présentant un intérêt scientifique dans les cantons de Saint-Gall et des Grisons

Il existe dans la vallée de Weisstannen, située dans le canton de Saint-Gall, une zone à forte radioactivité naturelle sous forme d'anomalie uranifère ponctuelle. Cette zone avait déjà été examinée à plusieurs reprises à pied et des échantillons de sol avaient été prélevés à cette occasion. En outre, la zone avait déjà fait l'objet de mesures aéroradiométriques en 1997. Ces mesures ont été répétées lors de la semaine de vol de cette année avec le nouveau système de mesure introduit en 2018, permettant une altitude de vol nettement plus basse. Le vol a été effectué manuellement et les pilotes ont suivi les instructions des opérateurs d'aéroradiométrie, ce qui a permis de s'entraîner également à ce type de collaboration.

Ensuite, un événement intéressant a pu être analysé dans les vallées du sud des Grisons. Suite à la catastrophe nucléaire de Tchernobyl, des masses d'air contaminé avaient été transportées en direction de la Suisse. Les précipitations tombées notamment dans le canton du Tessin et dans les vallées du sud des Grisons avaient entraîné le dépôt au sol de parties de ces radionucléides. Même 36 ans plus tard, il est possible de détecter des résidus de cette contamination. Le césium, un métal alcalin, s'accumule entre autres dans les truffes de cerf, qui sont à leur tour consommées par les sangliers en fonction de la saison. Depuis 2013 pour le canton du Tessin et 2019 pour le canton des Grisons, tous les sangliers abattus et destinés à la consommation font l'objet d'une analyse de l'isotope radioactif césium ^{137}Cs . Après avoir constaté que les valeurs limites sont régulièrement dépassées dans ces échantillons, la

CENAL a décidé de procéder cette année à des mesures aéroradiométriques dans le val Mesolcina et le val Calanca afin de compléter les informations.

En raison de la topographie compliquée, ce vol de mesure a également été effectué manuellement et les mesures ont été densifiées ponctuellement là où les conditions topographiques le permettaient. Pour ce vol, l'accent a été mis sur les zones non construites et principalement boisées.

2.4 Vols d'essai dans le cadre d'un exercice avec l'Institut Paul Scherrer

Dans le cadre d'une thèse de doctorat, une méthode de calibration est développée au PSI spécialement pour les systèmes de mesure d'aéroradiométrie suisses, afin d'améliorer la qualité des résultats tout en élargissant les possibilités de mesure. Les modèles numériques permettront d'identifier et de quantifier un éventail plus large de radionucléides et d'améliorer en particulier l'identification des radionucléides artificiels utilisés dans les domaines de la médecine, de l'industrie et de la recherche, qui pourraient être libérés en cas d'incident radiologique.

L'exactitude du modèle numérique développé doit être vérifiée par des mesures. De telles mesures ont été effectuées le 16 juin sur la place d'armes de Thoune avec des sources radioactives disposées au sol (13 missions différentes au total). Les données collectées ce jour-là seront analysées ultérieurement en détail au PSI.

2.5 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
 - 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 ;
- achèvement du programme de formation des nouveaux opérateurs ARM ;
- vérification et mise à jour de la documentation d'intervention.

2.6 Information de la population, des médias et des autorités

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 des 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 CENAL en cas de questions de la population.

Le 9 juin, les vols de mesure ont été annoncés dans un communiqué de presse et un article a été publié le 10 juin sur le blog d'Alertswiss. Les partenaires et les autorités ont été informés au préalable de manière active. 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 en outre 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.

2.7 Rapport scientifique

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

2.8 Organisations partenaires participantes

Les organisations suivantes ont été associées à la préparation et à la réalisation de l'exercice « Aéroradiométrie 2022 » :

- Centrale nationale d'alarme (CENAL) et EM CF CENAL
- Centre de compétences NBC-DEMUNEX
- Forces aériennes suisses (FA)
- Institut Paul Scherrer (PSI)
- Office fédéral de la santé publique (OFSP)
- Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN)
- Coordinateurs ABC des cantons AG, BE, GR, SH et ZH
- Service de la consommation et des affaires vétérinaires du canton GR

La CENAL et l'équipe d'aéroradiométrie remercient tous les participants de leur collaboration.



3 Résultats des mesures

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. Sur mandat de la Commission germano-suisse pour la sécurité des installations nucléaires (DSK), le programme de mesure standard a été étendu. Depuis 2018, il inclut une zone proche de la frontière sur le territoire allemand et, depuis 2020, côté suisse la région située autour de Bad Zurzach, Rietheim et Coblenz jusqu'à la frontière nationale. Pour la première fois, les lignes de vol du côté allemand ont été prolongées cette année en direction du nord-est jusqu'au-dessus du quartier de Waldshut de Waldshut-Tiengen.

Les centrales nucléaires de Leibstadt et de Beznau I se trouvaient en révision annuelle pendant le vol de mesure. La centrale nucléaire de Beznau II était en service, tout comme les installations SLS et SwissFEL du PSI.

3.1.1 CN L, CN B, PSI et ZWILAG : informations concernant le survol radiométrique

Date / heure :	13.06.2022, 09 h 52 – 11 h 52 h et 13 h 54 – 16 h 15
Lignes de vol :	55 couloirs de 250 m de large
Durée du vol :	4 h 21 min
Zone survolée :	env. 180 km ² dans les environs des CN L et CN B, du PSI et du ZWILAG
Altitude :	environ 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 1).

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 de l'aire d'exploitation de la centrale nucléaire :

La centrale nucléaire de Leibstadt étant en révision lors du vol de mesure, sa conduite de vapeur entre le bâtiment du réacteur et celui des machines n'est pas visible sur la carte de mesure. En raison de l'épaisse enveloppe de protection, aucun rayonnement gamma émanant des réacteurs nucléaires des installations n'a été mesuré. Des valeurs comparables ont déjà été observées les années précédentes.

Standardmessprogramm Beznau und Leibstadt

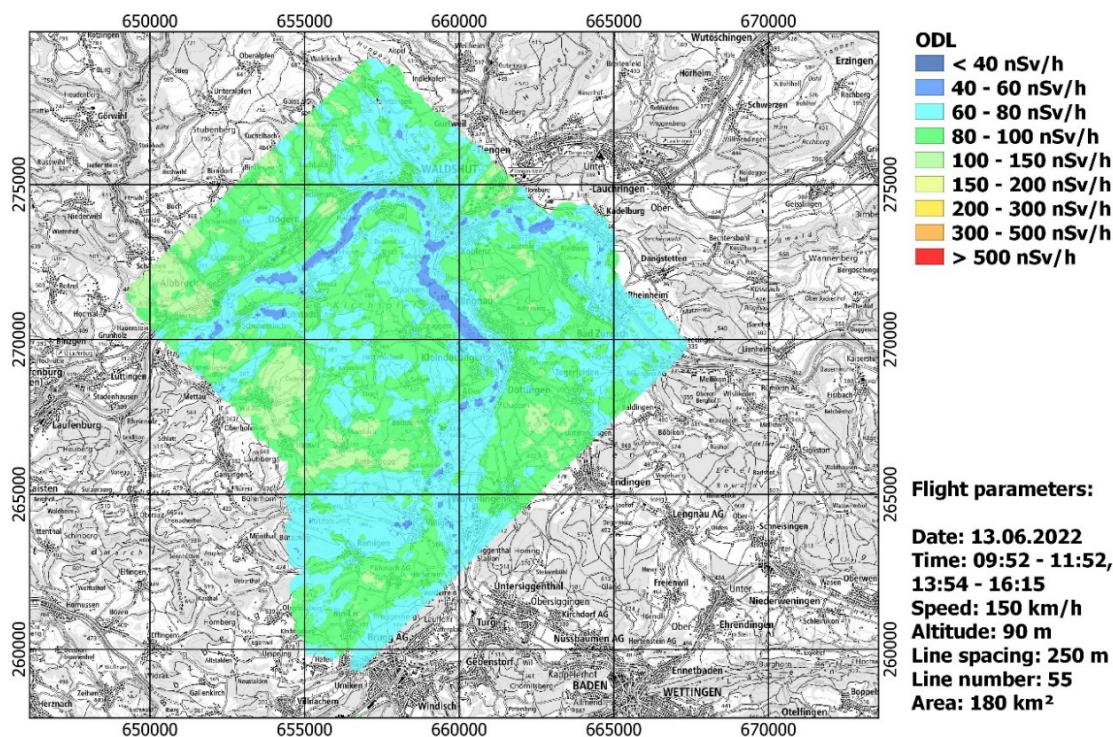


Figure 1 : Carte du débit de dose ambiant (DDA) aux environs des centrales nucléaires de Leibstadt et de Beznau et des installations nucléaires du PSI et du ZWILAG

Standardmessprogramm Beznau und Leibstadt

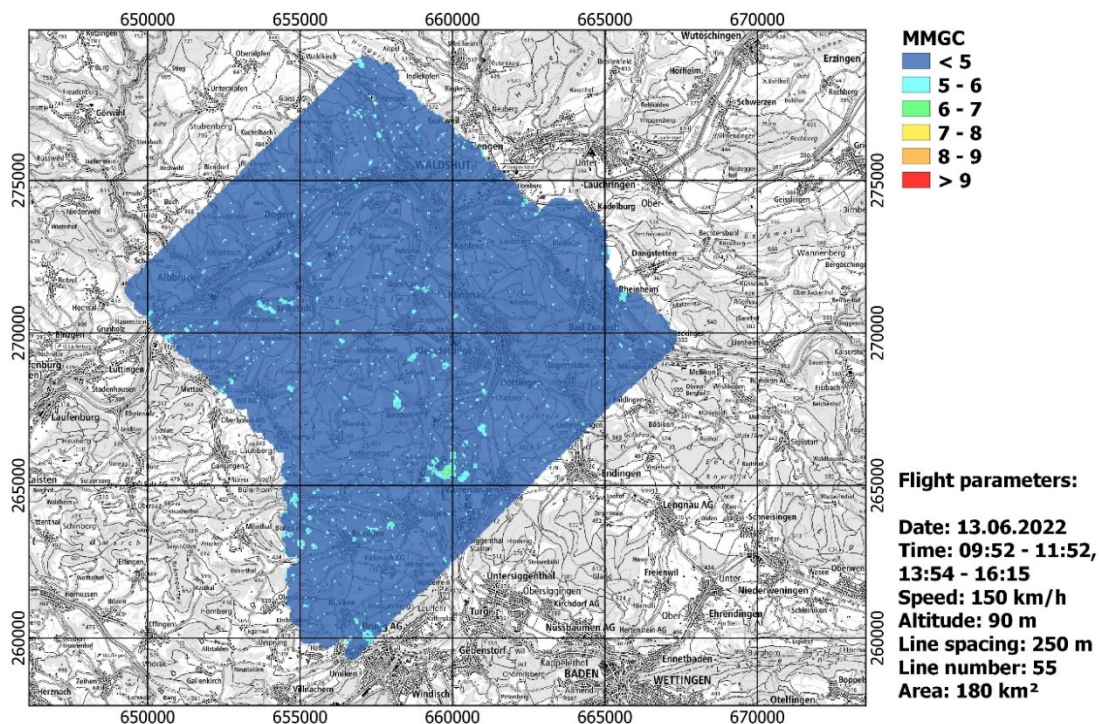


Figure 2 : Carte du rapport MMGC aux environs des CN B et CN L, du PSI et du ZWILAG

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

La carte de la figure 2 représente le rapport entre les deux extrémités du spectre énergétique. Les isotopes 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 et est appelé « Man made gross count (MMGC) ».

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. Environ 100 m à l'est du site du PSI, quelques points de mesure ont été identifiés avec un rapport MMGC supérieur à 7, soit environ 1,5 fois la valeur du sol. Afin de faciliter l'observation de cette zone au rapport MMGC plus élevé, elle est représentée à la figure 3 par un extrait de carte à plus petite échelle. Une analyse du spectre d'énergie, présentée à la figure 4, a montré que le rayonnement mesuré équivaut à 511 kV et qu'il s'agit donc d'une annihilation électron-positron. Cette annihilation électron-positron résulte de la désintégration de composants atmosphériques activés dans la sortie d'air de l'accélérateur du PSI Ouest.

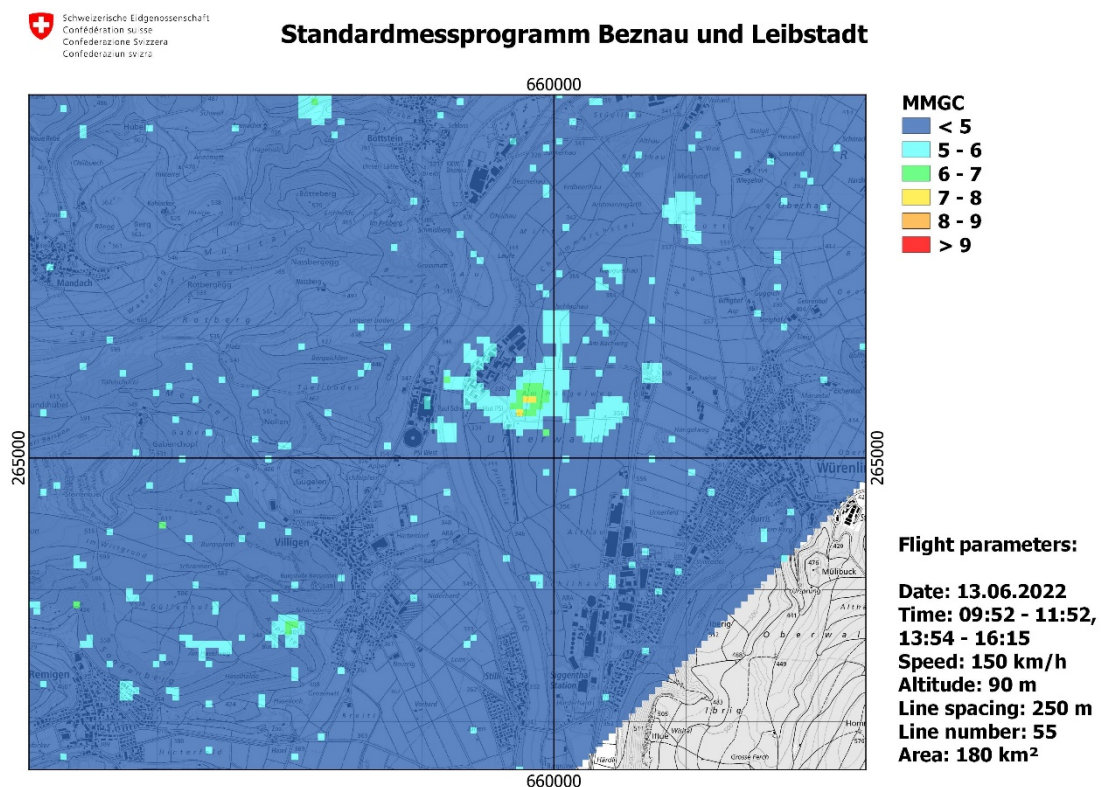


Figure 3 : Rapport MMGC à proximité du PSI, extrait avec une échelle plus petite

Le rejet de ces composants atmosphériques activés est autorisé, surveillé et comptabilisé, et l'observation de l'augmentation du rapport MMGC à l'ouest du PSI coïncide avec les mesures de vent effectuées par MétéoSuisse à la station météorologique du PSI : au moment du vol de mesure, le vent était léger et orienté à 270 °, ce qui correspond à un courant de vent d'ouest en est.

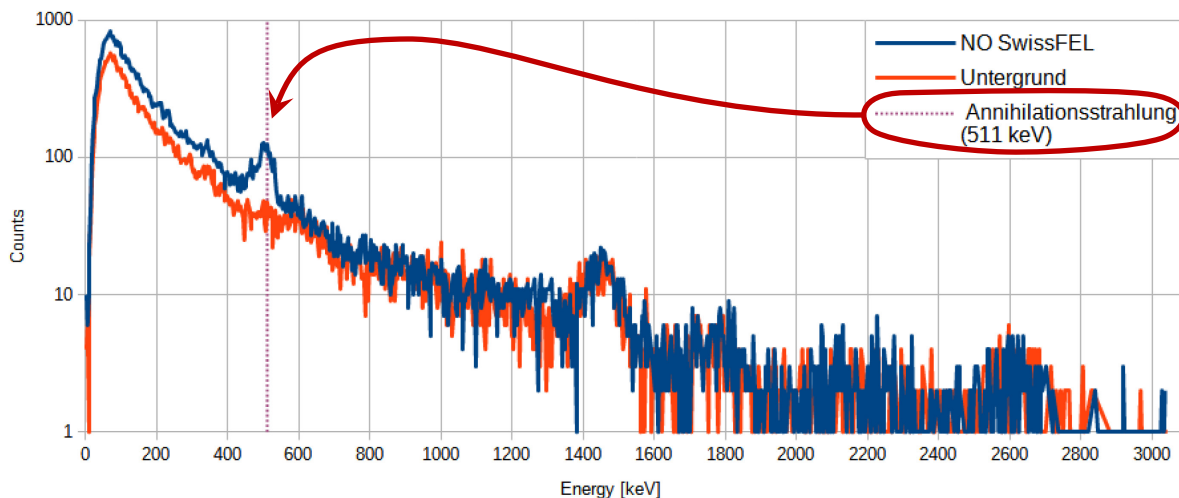


Figure 4 : Spectre gamma du point affichant le rapport MMGC le plus élevé du nuage d'air évacué de l'accélérateur PSI.

Explication : 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}Th est représenté sur la carte de la figure 5. L'anomalie naturelle de thorium mentionnée au paragraphe 3.2.1 explique les taches turquoise et vert clair dans les environs de Mandach, au sud-ouest de Böttstein. Une concentration de ^{232}Th de 20 à 30 Bq/kg est typique de la Suisse. Aux environs de Mandach, les valeurs atteignent jusqu'à 75 Bq/kg (voir rapport scientifique : PSI Bericht N° 15-02, ISSN 1019-0643, pp. 8-11 et 20-23).

Standardmessprogramm Beznau und Leibstadt

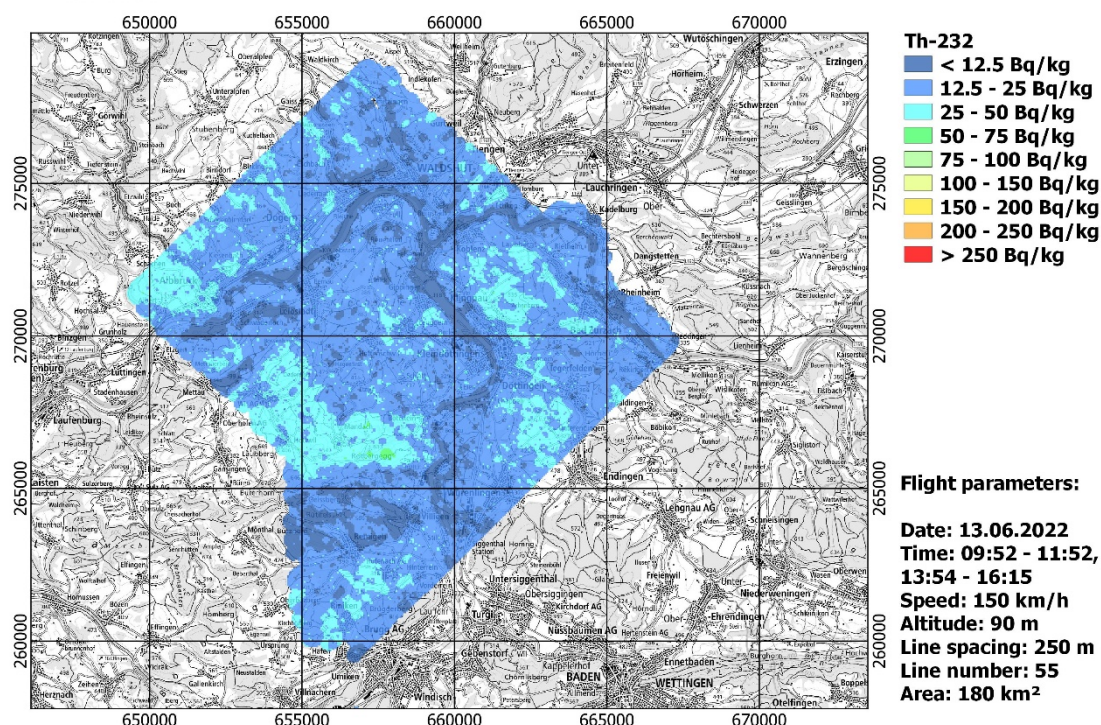


Figure 5 : Carte du thorium 232 dans les environs des CN B et CN L, du PSI et du ZWILAG

3.2 Zone à forte radioactivité naturelle de la vallée de Weisstannen

Une étude publiée en 2008¹ mentionnait une anomalie uranifère ponctuelle naturelle dans la vallée de Weisstannen dans le canton de Saint-Gall, à 1 km à l'est du Risetenhoren. Cette zone a été survolée lors de la semaine de vol d'aéroradiométrie. Le vol de mesure a été effectué manuellement. Les pilotes ont survolé la zone concernée à différentes altitudes et dans différentes directions, selon les instructions des opérateurs d'aéroradiométrie.

3.2.1 Zone à forte radioactivité naturelle de la vallée de Weisstannen : informations concernant le survol radiométrique

Date / heure : 14.06.2022, 09 h 08 – 09 h 19
Lignes de vol : technique de recherche de sources
Durée du vol : 11 min
Altitude : majoritairement 50 m, une ligne à 30 m

¹ Bützer, Peter. Ein radioaktiver «Hotspot» im Verrucano des Weisstannentals. Berichte der St.-Gallischen naturwissensch. Gesellschaft, Band 91, 2008 (<http://doi.org/10.5169/seals-832615>)

3.2.2 Zone à forte radioactivité naturelle de la vallée de Weisstannen : débit de dose ambiant

La carte du débit de dose ambiant (DDA) à la figure 6 n'indique aucune valeur suspecte. Comme attendu, des valeurs du DDA allant jusqu'à un peu plus de 200 nSv/h ont été mesurées dans cette région. Aucun point de mesure nettement plus élevé n'est visible. Les pixels marqués en jaune foncé doivent en outre être considérés de manière critique, car le système de mesure est calibré pour un terrain plat. Lorsque le terrain est en pente, les valeurs élevées peuvent être dues à des altérations de la mesure.

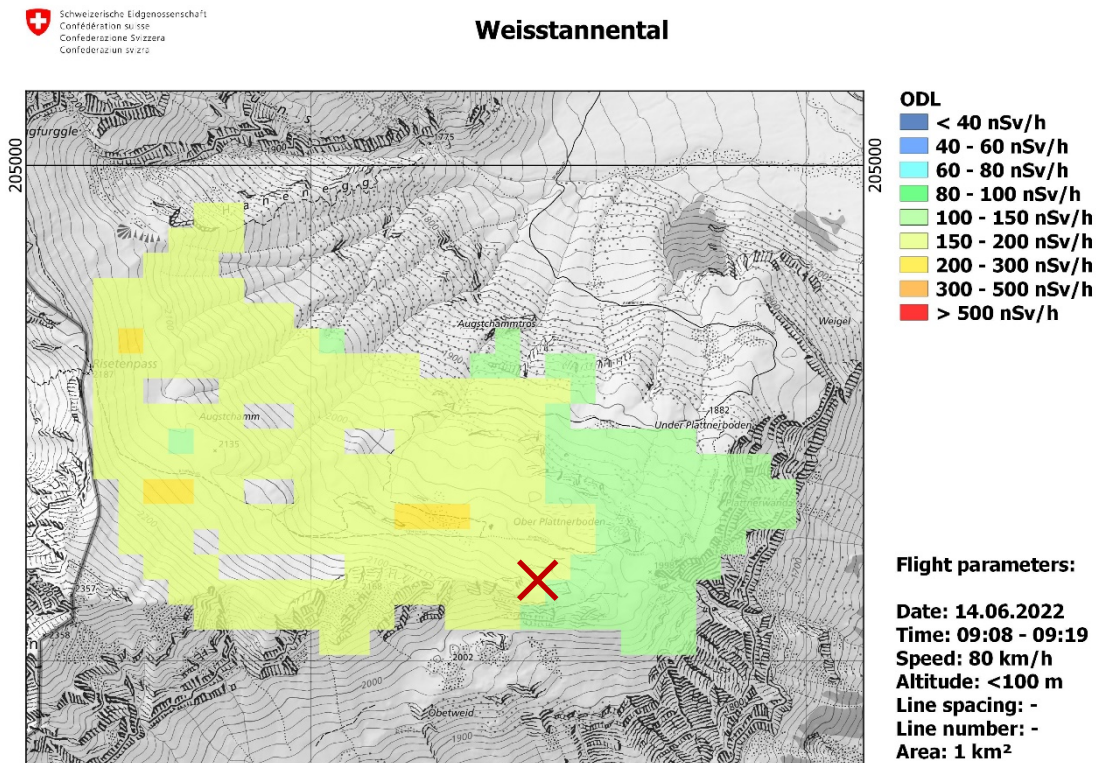


Figure 6 : Carte de mesure du DDA dans les environs de la zone à forte radioactivité de la vallée de Weisstannen. L'emplacement de l'anomalie uranifère ponctuelle connue est marqué d'une croix rouge.

3.2.3 Zone à forte radioactivité naturelle de la vallée de Weisstannen : uranium

La carte de mesure de l'uranium (^{238}U) de la figure 7 n'indique pas non plus de valeurs significativement élevées.

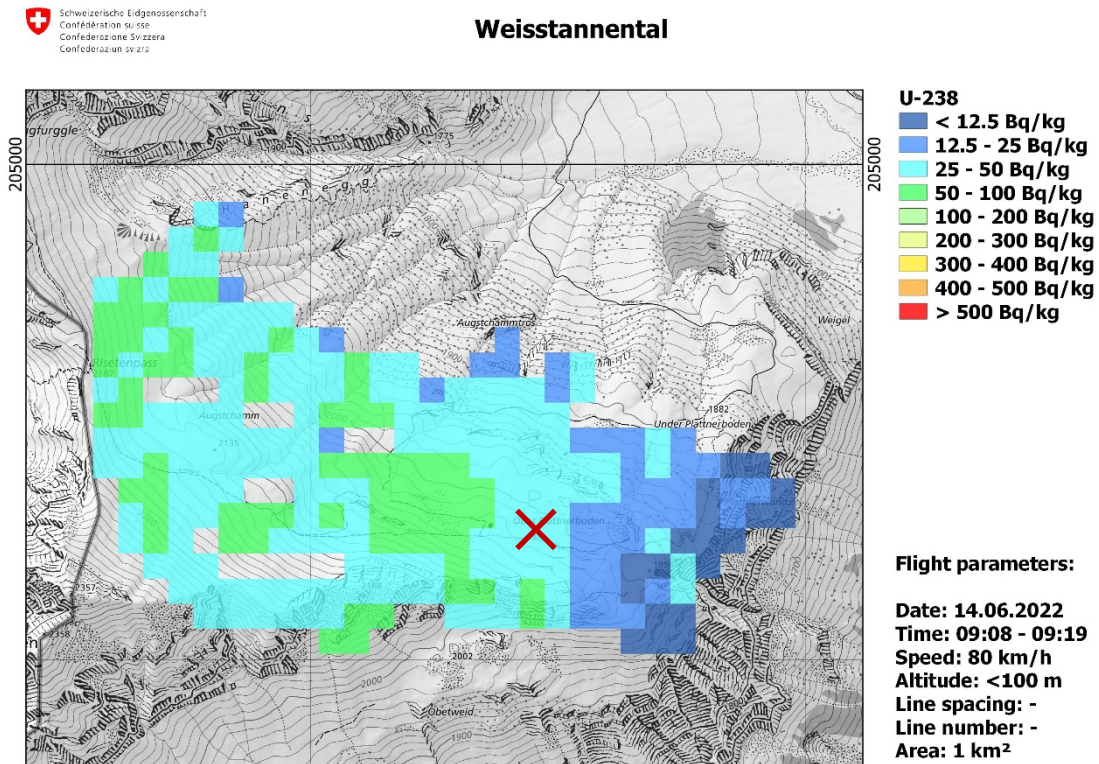


Figure 7 : Carte de mesure de l'isotope d'uranium ^{238}U aux environs de la zone à forte radioactivité naturelle de la vallée de Weisstannen. L'emplacement de l'anomalie uranifère ponctuelle connue est marqué d'une croix rouge.

3.3 Vallée de Rheinwald, val Mesolcina et val Calanca

Un vol de mesure a mené d'Andeer le long de la vallée de Rheinwald, en passant par le San Bernardino, par le val Mesolcina et par le val Calanca. Il a été effectué manuellement et les pilotes volaient selon les instructions des opérateurs d'aéroradiométrie. Lorsque la topographie le permettait, des lignes de mesure supplémentaires ont été insérées, augmentant ainsi la densité des valeurs de mesure disponibles.

3.3.1 Vallée de Rheinwald, val Mesolcina et val Calanca : informations concernant le survol radiométrique

Date / heure : 14.06.2022, 09 h 32 – 11 h 36
Lignes de vol : vol manuel guidé par les opérateurs d'aéroradiométrie
Durée du vol : 2 h 04 min
Altitude : 90 m

3.3.2 Vallée de Rheinwald, val Mesolcina et val Calanca : débit de dose ambiant

La carte du débit de dose ambiant (DDA) de la figure 8, représentant la situation de la vallée de Rheinwald ainsi que du val Mesolcina et du val Calanca, situés au sud des Grisons, n'indique aucune valeur suspecte. Des valeurs allant jusqu'à 200 nSv/h sont courantes dans les vallées alpines.

3.3.3 Vallée de Rheinwald, val Mesolcina et val Calanca : rapport MMGC

La carte illustrant le rapport entre les deux extrémités du spectre énergétique (figure 9) ne contient pas non plus de valeurs permettant de conclure à une part nettement plus élevée de radioactivité artificielle. Le rapport MMGC a toutefois tendance à être légèrement plus élevé dans les vallées du sud qu'au nord du San Bernardino.

3.3.4 Vallée de Rheinwald, val Mesolcina et val Calanca : césium

La carte de mesure du ^{137}Cs de la figure 10 indique des valeurs légèrement plus élevées dans le val Mesolcina et le val Calanca. Dans la vallée de Rheinwald, les valeurs mesurées se situent entre 20 et 50 Bq/kg, soit à peine plus que, par exemple, dans la ville de Coire ou sur le Plateau. Dans le val Mesolcina et la val Calanca, des valeurs de césium allant jusqu'à environ 150 Bq/kg ont été détectées, ce qui correspond environ au triple, sans que des maxima locaux clairs aient été identifiés.

Ces valeurs sont dues aux dépôts de césium suite à l'accident nucléaire de Tchernobyl en 1986. Les valeurs mesurées se situent dans la fourchette attendue pour les Alpes du Sud et sont très proches des valeurs mesurées l'année précédente à Lugano.

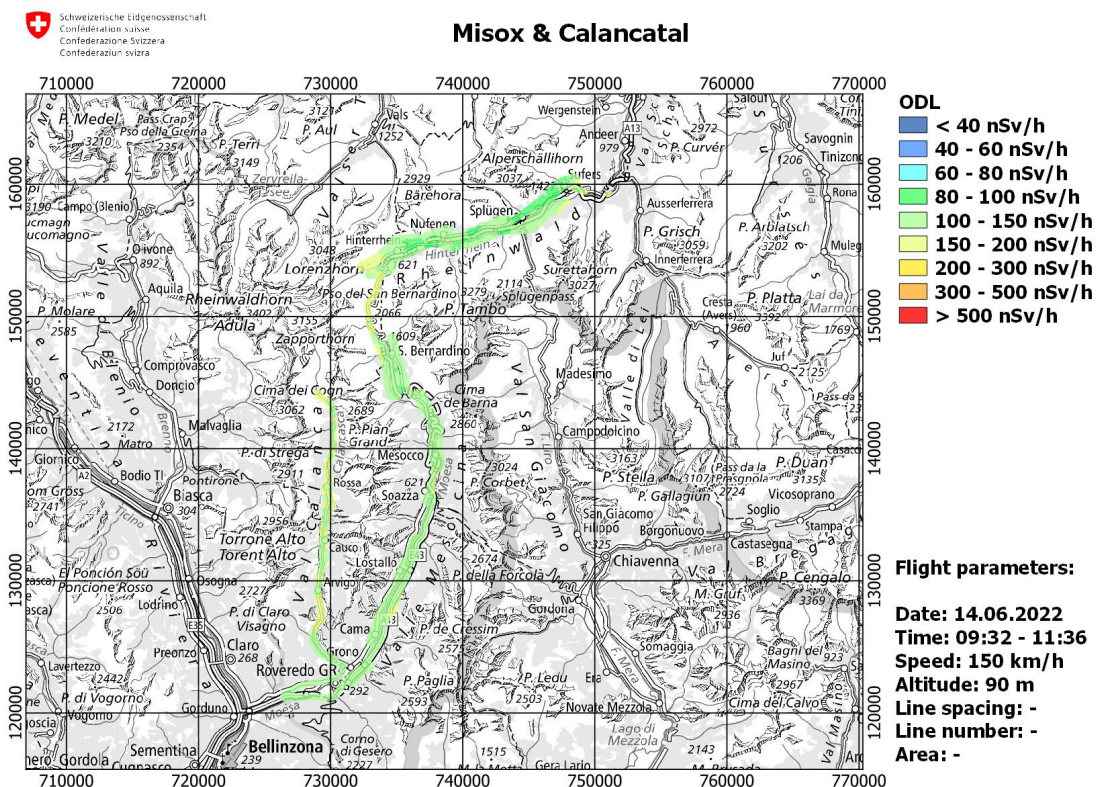


Figure 8 : Carte du débit de dose ambiant (DDA) dans la vallée de Rheinwald, le val Mesolcina et le val Calanca.



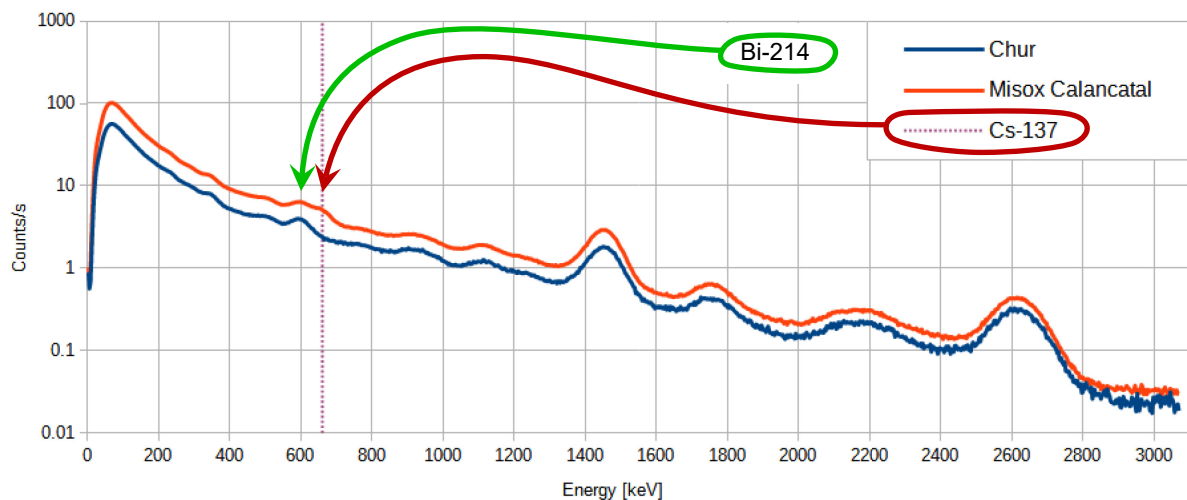


Figure 11 : Spectres gamma cumulés du vol de mesure au-dessus de la ville de Coire (bleu) et de celui dans le val Mesolcina et le val Calanca (orange). Sur les deux courbes, on peut voir le pic d'énergie du ^{214}Bi (bismuth) à 609 keV. La courbe des vallées du sud présente à droite de ce pic un épaulement, à peine visible, dû au ^{137}Cs à 660 keV.

La comparaison des spectres gamma cumulés de l'ensemble des mesures effectuées dans le val Mesolcina et la val Calanca avec ceux de la ville de Coire (figure 11) révèle une légère différence : à 660 keV, on peut distinguer un signal ^{137}Cs , comme un épaulement juste à droite du pic de ^{214}Bi (bismuth) à 609 keV.

3.4 Mesure de la ville de Coire

La ville de Coire, y compris les localités voisines de Felsberg et Domat/Ems, a également été survolée cette année. Les mesures aéroradiométriques ont été réalisées dans le cadre du programme des mesurages urbains mené depuis de nombreuses années. La CENAL dispose ainsi de valeurs de référence pour les 17 plus grandes villes suisses et de nombreuses petites localités.

3.4.1 Coire, Felsberg, Domat/Ems : informations concernant le survol radiométrique

Date / heure : 14.06.2022, 13 h 51 – 14 h 33
 Lignes de vol : 10 couloirs de 250 m de large
 Durée du vol : 42 min
 Zone survolée : env. 28 km² de la ville de Coire jusqu'à Domat/Ems
 Altitude : 90 m

3.4.2 Coire, Felsberg, Domat/Ems : débit de dose ambiant

La carte de la figure 12 présente le débit de dose ambiant (DDA) de la ville de Coire. On y distingue une zone avec des valeurs plus basses au nord de Felsberg. Cette différence est due à l'absence de végétation suite à un éboulement, ce qui modifie l'approvisionnement du sol. De plus, en raison des formations rocheuses s'avancant à pic dans le terrain, il a fallu s'écarter de manière très dynamique de l'altitude de vol fixée, ce qui est difficile à corriger lors de l'évaluation.

3.4.3 Coire, Felsberg, Domat/Ems : ^{137}Cs

La carte de la région allant de Coire à Domat/Ems présente des valeurs de ^{137}Cs très basses (figure 13), ce qui est courant pour les lieux situés au nord des Alpes. Les concentrations de ^{137}Cs sont significativement plus faibles que dans le val Calanca et le val Mesolcina. Par contre, les différences avec la vallée de Rheinwald sont peu importantes, ce qui correspond aux résultats attendus (cf. paragraphe 3.3.4).

3.4.4 Coire, Felsberg, Domat/Ems : ^{40}K

Comme on peut le voir sur la carte de la figure 14, la surface de la zone située au nord-ouest de Felsberg est dominée par des rochers. En raison de la quasi-absence de végétation, la présence de potassium est nettement moins importante et les concentrations de l'isotope ^{40}K détectées sont donc faibles. Hormis cette particularité, la carte du potassium n'indique aucune valeur suspecte. Les valeurs sont légèrement plus basses dans les zones construites que dans les zones à la végétation abondante.

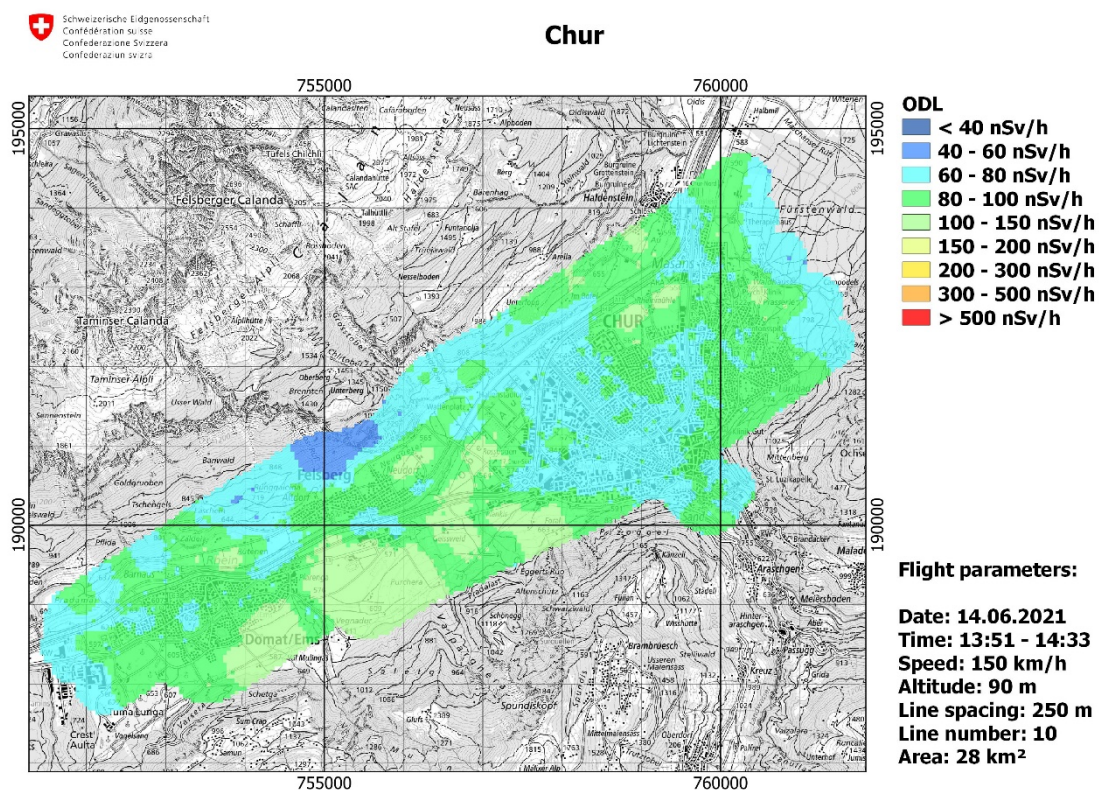


Figure 12 : Débit de dose ambiant (DDA) du mesurage urbain de Coire à Domat/Ems

Chur

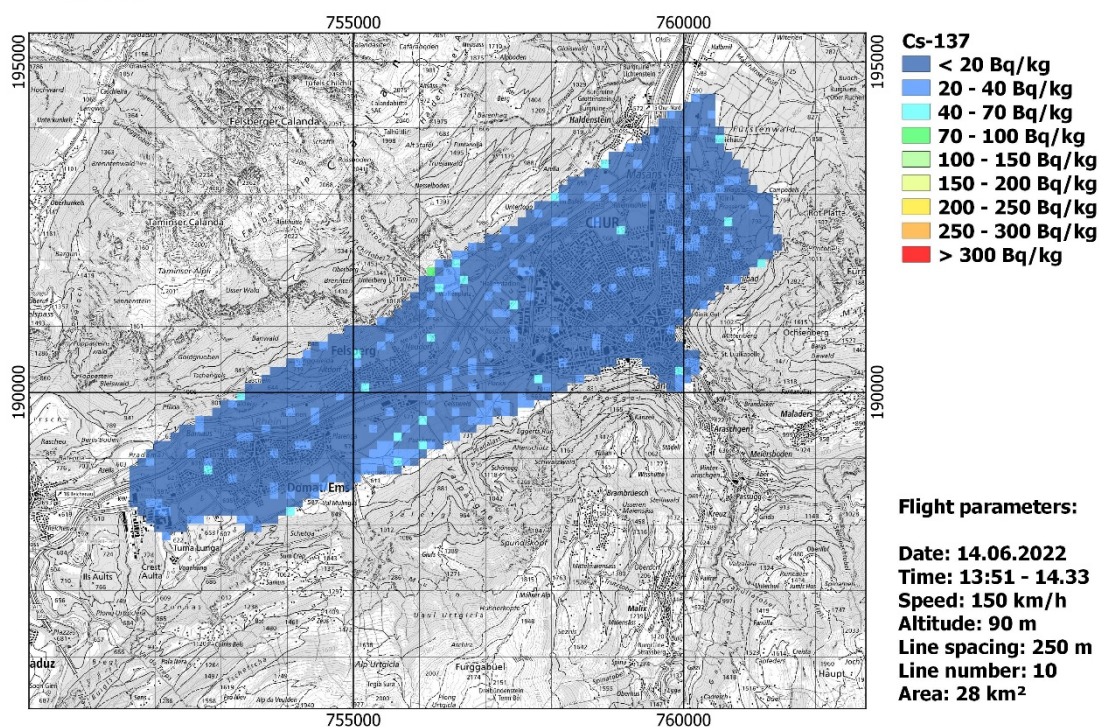


Figure 13 : La carte du ^{137}Cs de Coire à Domat/Ems ne montre pas d'augmentation significative des valeurs.

Chur

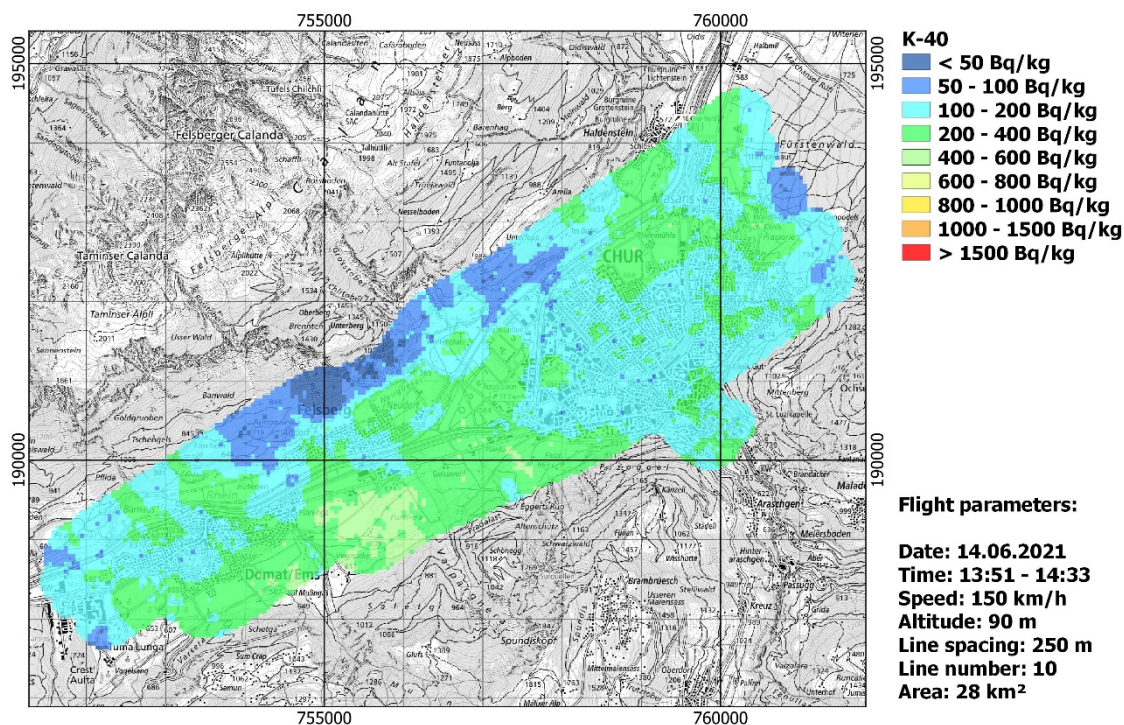


Figure 14 : Au nord-ouest de Felsberg, suite à un éboulement, la surface est dominée par des roches à peine végétalisées et la concentration de ^{40}K y est très basse.

3.5 Région située au nord-est de l'aéroport de Zurich et partie nord de la chaîne montagneuse entre Pfannenstiel et le Zürichberg

Des vols ont également été effectués au-dessus de la région située au nord et au nord-est de l'aéroport de Zurich-Kloten, depuis les communes de Bassersdorf et Bülach jusqu'à la frontière nord du pays entre Rheinau et Eglisau, y compris le Rafzerfeld, et de la partie nord de la chaîne montagneuse entre Pfannenstiel et le Zürichberg, avec les localités de Zumikon, Zollikerberg et Witikon. Les mesures aéroradiométriques ont été réalisées dans le cadre du programme de mesure des zones à forte densité de population et des environs d'infrastructures critiques.

3.5.1 Zone de mesure Bülach-Bassersdorf

Le jour de la mesure, le trafic aérien autour des aéroports de Zurich et de Genève a dû être interrompu en raison d'un problème au sein du service de contrôle aérien Skyguide. L'équipe d'aéroradiométrie a ainsi eu la possibilité d'étendre la zone de mesure de 5 lignes supplémentaires en direction de l'aéroport. Après la reprise des vols réguliers, les vols de mesure ont été poursuivis conformément au programme prévu. Selon les retours de tous les participants, la communication et la coordination entre l'aéroport de Zurich, l'hélicoptère d'aéroradiométrie et Skyguide ont très bien fonctionné.

Bülach-Bassersdorf : informations concernant le survol radiométrique

Date / heure :	15.06.2022, 08 h 32 – 11 h 25
Lignes de vol :	25 couloirs de 250 m de large
Durée du vol :	2 h 53 min
Zone survolée :	env. 115 km ² dans les environs de Bülach, Bassersdorf, Eglisau
Altitude :	90 m

Bülach-Bassersdorf : débit de dose ambiant

La carte du débit de dose ambiant (DDA) à la figure 15 affiche des valeurs normales. Les variations observées dans la région survolée sont dues à la géologie, à la topographie, aux cours d'eau et à la végétation.

Bülach-Bassersdorf : isotope de potassium ⁴⁰K

Les légères différences affichées par le DDA s'expliquent principalement par les concentrations variables de radionucléides naturels. La carte de l'isotope ⁴⁰K du potassium de la figure 16 est présentée à titre d'exemple. La comparaison directe avec la carte du DDA de la figure 15 met en évidence cette corrélation.

Bülach

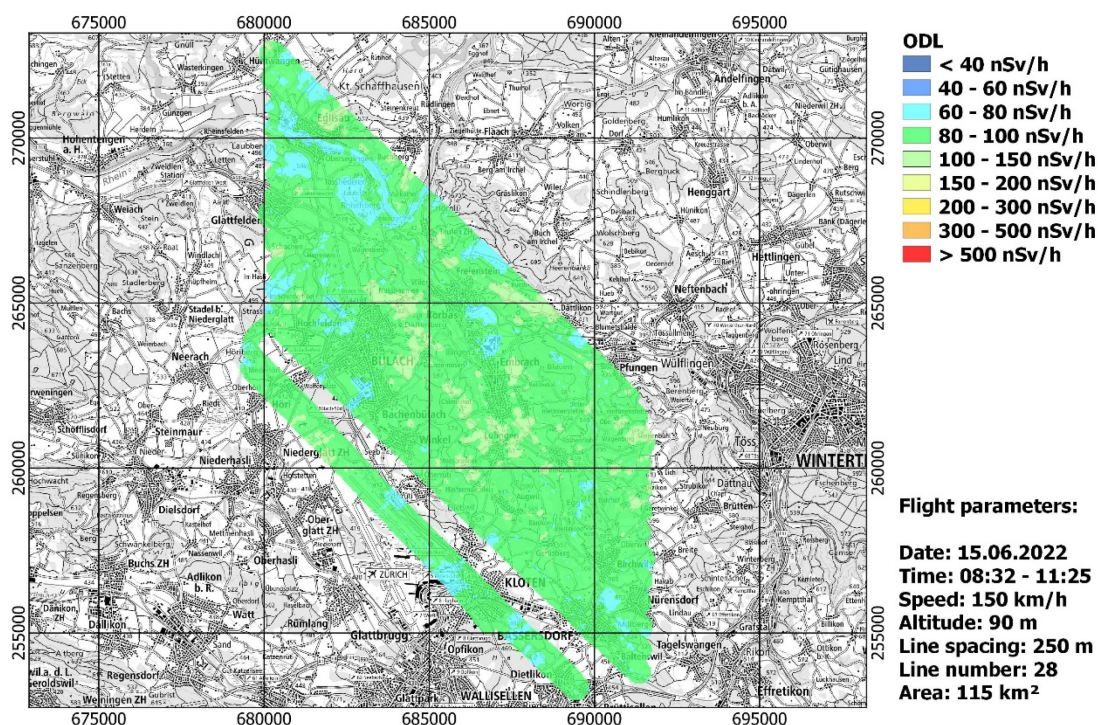


Figure 15 : DDA de la zone de mesure Bülach-Bassersdorf

Bülach

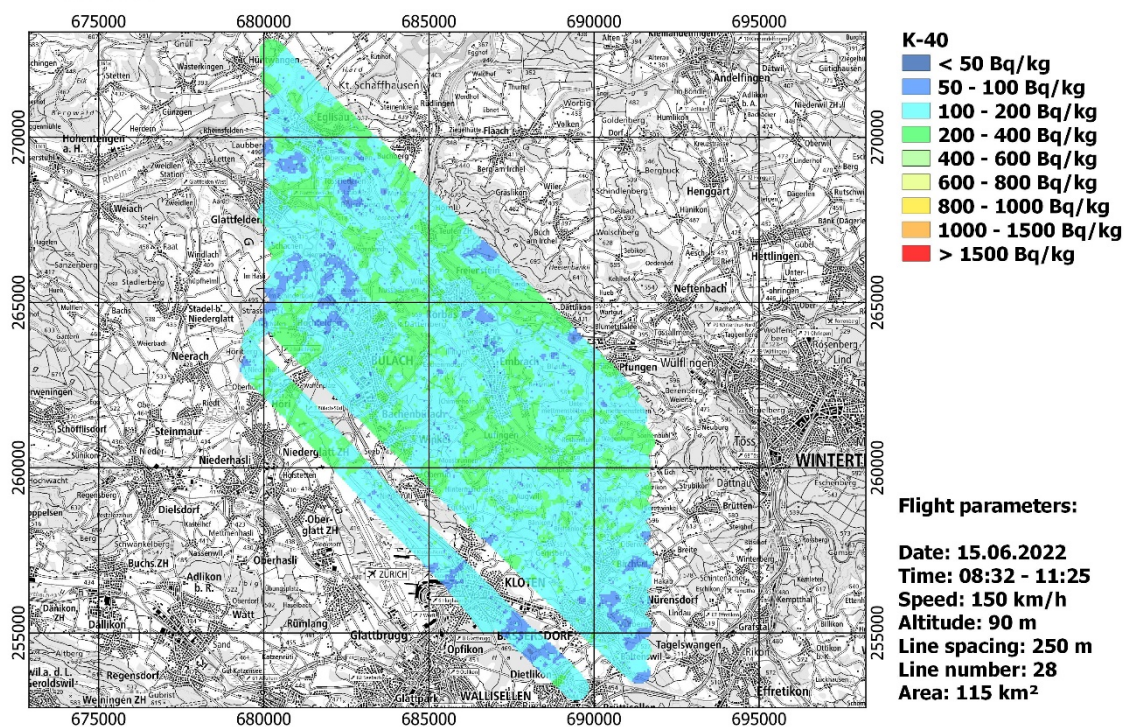


Figure 16 : Carte de mesure de l'isotope ⁴⁰K du potassium dans la zone Bülach-Bassersdorf

3.5.2 Zone de mesure de Flaach

Flaach : informations concernant le survol radiométrique

Date / heure : 15.06.2022, 13 h 53 – 15 h 11
Lignes de vol : 20 couloirs de 500 m de large
Durée du vol : 1 h 18 min
Zone survolée : env. 100 km² autour de la commune de Flaach
Altitude : 150 m

Flaach : débit de dose ambiant

La carte du débit de dose ambiant (DDA) de la figure 17 affiche des valeurs standard, situées dans la marge de variation normale. Les variations observées dans la région survolée sont dues à la géologie, à la topographie, aux cours d'eau et à la végétation.

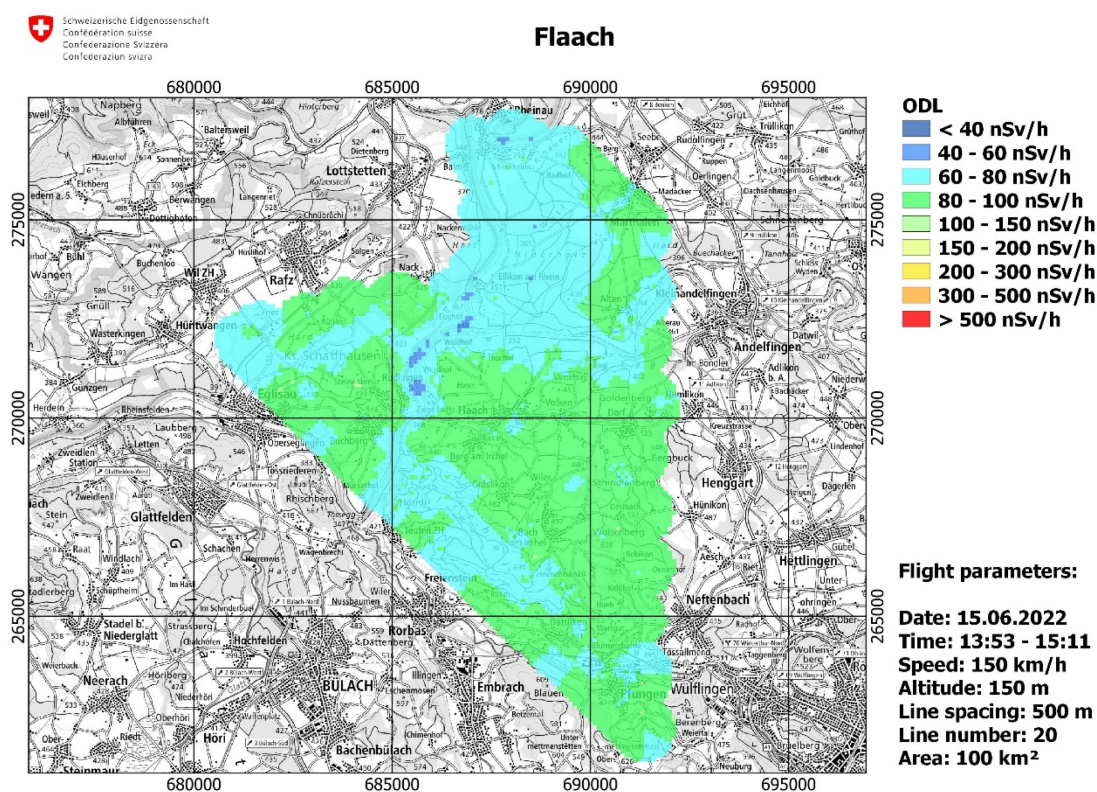


Figure 17 : DDA de la zone de mesure de Flaach

3.5.3 Zone de mesure de Rafz

Rafz : informations concernant le survol radiométrique

Date / heure : 15.06.2022, 15 h 15 – 16 h 08
Lignes de vol : 15 couloirs de 200 m de large
Durée du vol : 53 min
Zone survolée : env. 33 km² : Rafzerfeld, à la frontière nord du pays
Altitude : 90 m

Rafz : débit de dose ambiant

La carte du débit de dose ambiant (DDA) de Rafzerfeld de la figure 18 affiche aussi des valeurs standard, situées dans la marge de variation normale. Les variations observées dans la région survolée sont dues à la géologie, à la topographie, aux cours d'eau et à la végétation.

Les cartes relatives aux nucléides spécifiques ainsi qu'au MMGC ne présentant pas non plus de valeurs suspectes, elles ne figurent pas dans le présent rapport.

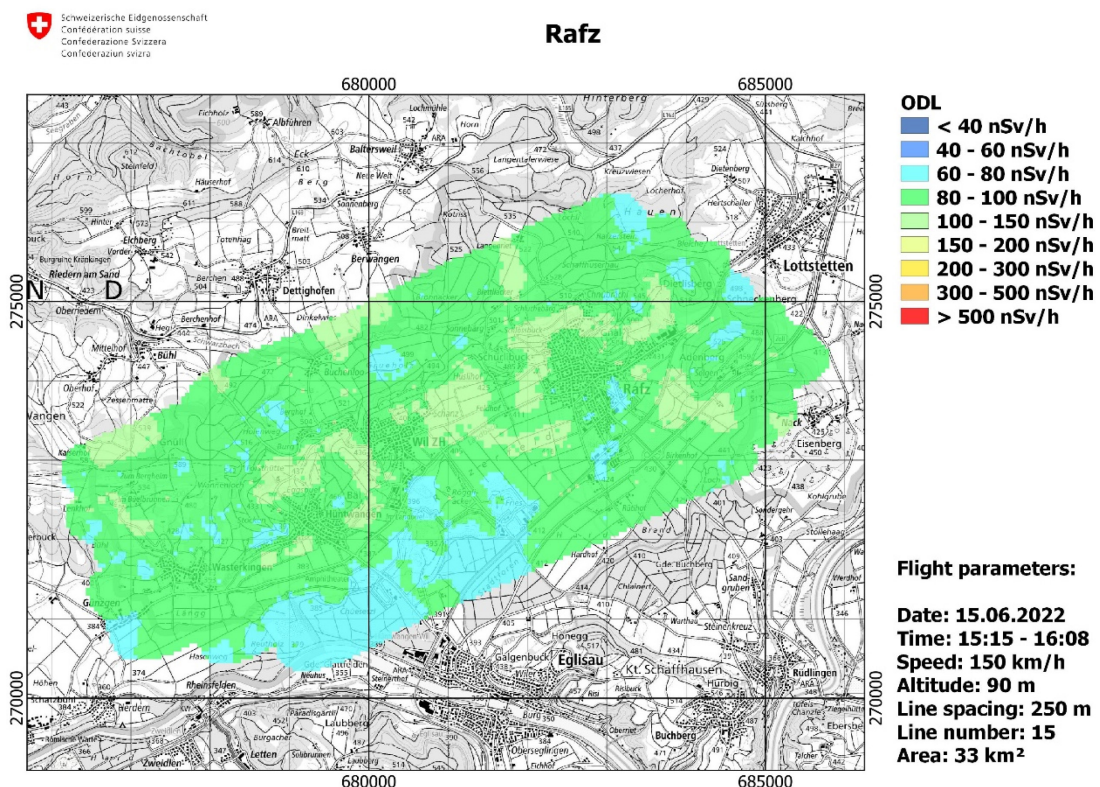


Figure 18 : DDA de la zone de mesure de Rafz

3.5.4 Zone de mesure du nord de la chaîne montagneuse entre Pfannenstiel et le Zürichberg

Chaîne montagneuse Pfannenstiel-Zürichberg : informations concernant le survol radiométrique

Date / heure : 14.06.2022, 14 h 57 – 15 h 54
Lignes de vol : 17 couloirs de 200 m de large
Durée du vol : 57 min
Zone survolée : env. 36 km² : extrémité nord de la chaîne, autour des localités de Witikon, Zollikerberg et Zumikon
Altitude : 90 m

Chaîne montagneuse Pfannenstiel-Zürichberg : débit de dose ambiant

La carte du débit de dose ambiant (DDA) de la partie nord de la chaîne Pfannenstiel-Zürichberg représentée à la figure 19 n'indique aucune valeur suspecte. Les valeurs se situent dans la marge de variation normale. Les variations observées dans la région survolée sont dues à la géologie, à la topographie, aux cours d'eau et à la végétation.

Les cartes relatives aux nucléides spécifiques ainsi qu'au MMGC ne présentant pas non plus de valeurs suspectes, elles ne figurent pas dans le présent rapport.

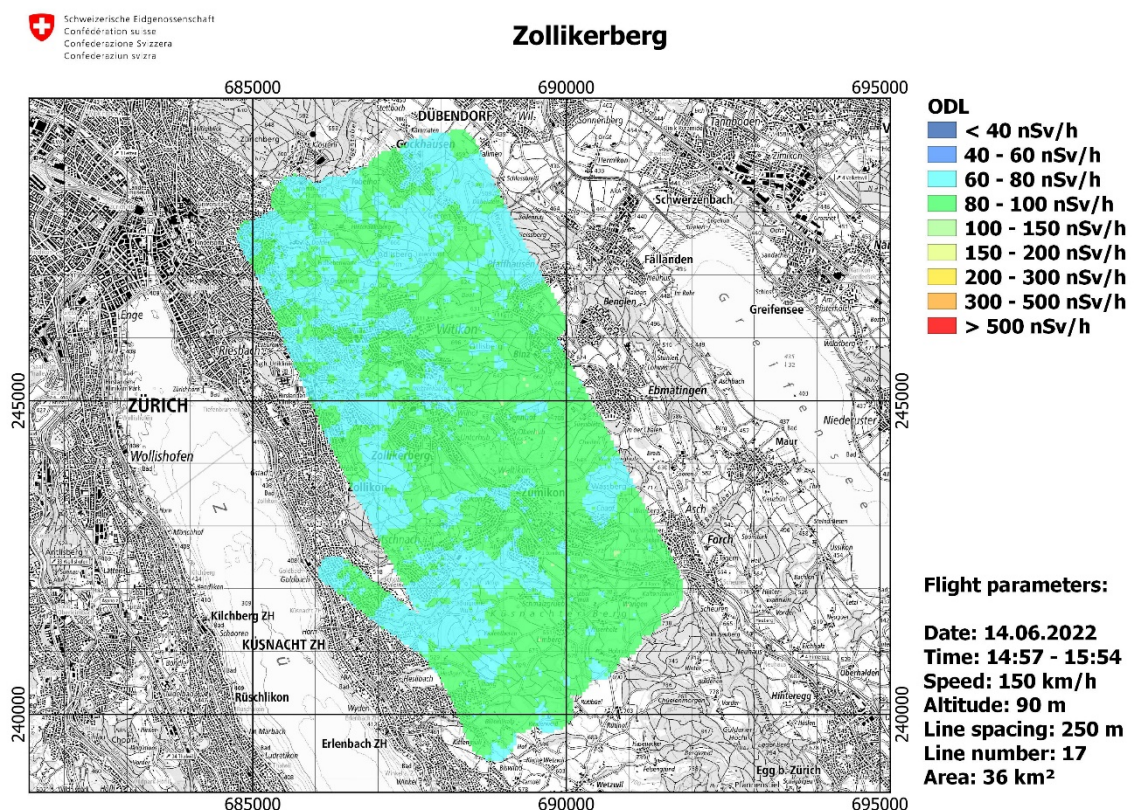


Figure 19 : DDA de la partie nord de la chaîne montagneuse Pfannenstiel-Zürichberg

3.6 Vols d'essai dans le cadre d'un exercice réalisé avec l'Institut Paul Scherrer (PSI)

Une méthode de calibration est développée au PSI dans le cadre d'une thèse de doctorat. Spécialement conçue pour les systèmes de mesure d'aéroradiométrie utilisés en Suisse, elle devrait permettre d'améliorer la qualité des résultats tout en élargissant les possibilités de mesure. Les modèles numériques permettront à l'avenir d'identifier et de quantifier un éventail plus large de radionucléides.

L'exactitude du modèle numérique développé doit être vérifiée par des mesures. Les vols d'essai nécessaires à cet effet ont eu lieu le 16 juin sur la place d'armes de Thoune avec trois sources radioactives différentes disposées au sol :

- 0,75 GBq ^{137}Cs
- 8,85 GBq ^{137}Cs
- 0,44 GBq ^{133}Ba

Au total, 11 missions différentes (vols rectilignes, vols stationnaires, mesures au sol) ont été effectuées avec et sans sources radioactives. Les valeurs de mesure collectées ce jour-là seront analysées en détail au PSI dans le cadre du travail de doctorat de David Breitenmoser.

Le fait que des sources réelles aient été utilisées pour la caractérisation du système a en outre permis d'acquérir de l'expérience avec le véhicule radiométrique du centre de compétences NBC-DEMUNEX de l'armée, qui a été mis à niveau sur le plan technique. Les opérateurs d'aéroradiométrie ont ainsi eu l'occasion de se familiariser avec le système de mesure utilisé au sol, qui présente de nombreuses similitudes, et d'avoir un aperçu de la nouvelle version du logiciel qui sera introduite à moyen terme dans le système d'aéroradiométrie.

Quelques reflets de cette journée :

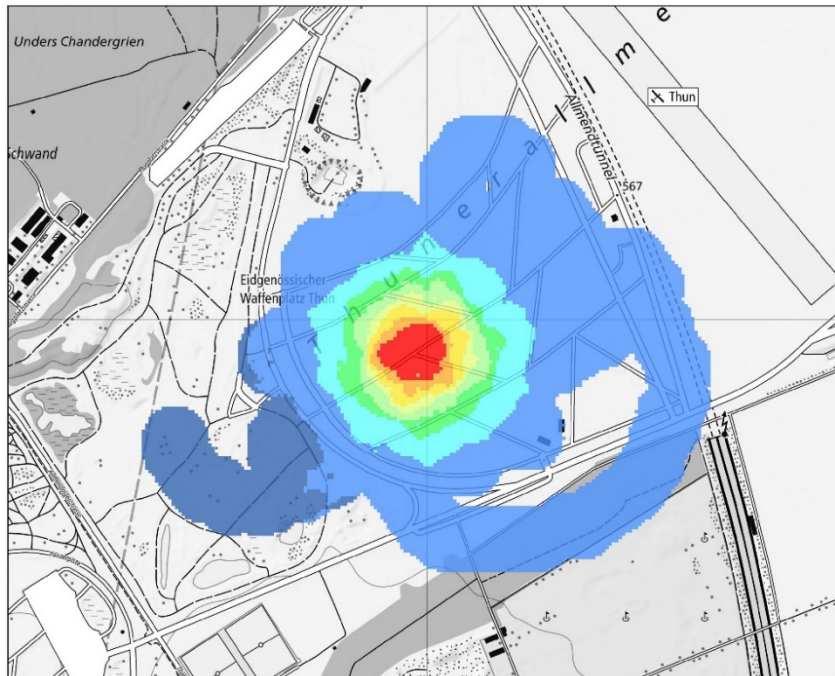


Systèmes de radiométrie au sol et d'aéroradiométrie utilisés simultanément.



Support de la source placé au centre de la signalisation
 La croix colorée doit servir à l'orientation de l'équipage de l'hélicoptère,
 afin que le détecteur puisse être placé au mieux au-dessus de la source.
 Le support a été conçu par le PSI et sa stabilité a été testée quelques jours avant
 l'exercice de mesure, lorsque l'hélicoptère se trouvait en vol stationnaire à basse altitude
 au-dessus de celui-ci.

Testflüge Waffenplatz Thun



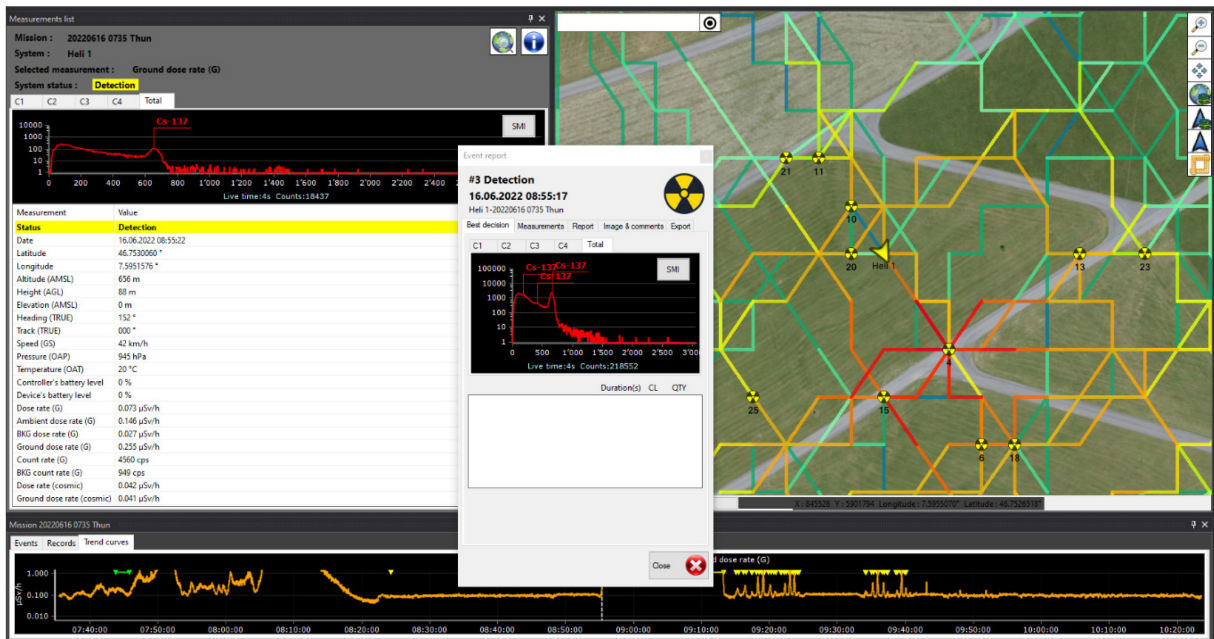
TDR

- < 40 nSv/h
- 40 - 60 nSv/h
- 60 - 80 nSv/h
- 80 - 100 nSv/h
- 100 - 150 nSv/h
- 150 - 200 nSv/h
- 200 - 300 nSv/h
- 300 - 500 nSv/h
- > 500 nSv/h

Flight parameters:

Date: 16.06.2022
 Time: 09:17 - 09:25
 Speed: 50 km/h
 Altitude: 30 m
 Line spacing: 40 m
 Line number: 5
 Area: 0.04 km²

Hélicoptère : rayonnement terrestre de la mission 4 (vol rectiligne avec la source 8,85 GBq ¹³⁷Cs).



Hélicoptère : la source a été clairement reconnue et immédiatement identifiée aussi par l'équipe à bord de l'hélicoptère.



Véhicule de radiométrie : carte de débit de dose visualisée dans le véhicule.



Afin de garantir que toutes les missions puissent être menées à bien dans le temps imparti, l'hélicoptère, la station de base (ground base) et la personne responsable de la mise en place des sources ont dû se coordonner. Les trois stations communiquaient par radio.



L'équipe scientifique du PSI pendant les mesures au sol (mission 6).



L'équipe d'évaluation à la station de base lors de l'évaluation et de la coordination.



Les mesures de la mission 6 ont été réalisées avec et sans sources et avec différents niveaux de remplissage du réservoir. Pour cette raison, un camion-citerne a été emprunté à l'aéroport de Belp et l'hélicoptère a été ravitaillé sur le terrain.



Photo de groupe à la fin d'une journée de mesure intense mais réussie.

4 Enseignements

- Les objectifs fixés pour la semaine d'exercice d'aéroradiométrie 2022 ont été atteints. Toutes les zones prévues ont pu être mesurées selon le programme établi. Les mesures du PSI ont également pu être effectuées jeudi : grâce à la coordination et au soutien mutuel de tous les participants, le programme très dense a été exécuté sans difficultés et sans contrainte de temps.
- Les vols de mesure dans les régions du val Mesolcina, du val Calanca, aux environs de l'aéroport de Zurich-Kloten et les vols d'essai sur la place d'armes de Thoune ont offert de nombreuses occasions de s'exercer à la communication vocale entre les opérateurs d'aéroradiométrie et les pilotes pendant les missions. Au cours de la semaine de mesure, des progrès ont été réalisés sur le plan de la coordination.
- Les opérateurs, qui font partie de l'équipe depuis peu, ont acquis une plus grande expérience.
- Le processus de briefing a été légèrement modifié en ce qui concerne la communication et la signalisation des POI (points of interest) sur l'écran affiché aussi dans le cockpit des pilotes a été optimisée.
- Des procédures de contrôle claires ont été définies afin d'assurer l'identification et la résolution rapides des problèmes. Elles devront toutefois être consolidées lors des prochaines campagnes de mesure.
- Les premiers tests en vue d'une mise à jour du logiciel ont été effectués et l'utilisation du véhicule de radiométrie au sol a permis d'avoir un aperçu de la prochaine version.
- Les processus de présentation des résultats de mesure ont été vérifiés, mis en pratique et optimisés.
- Le procédé ayant fait ses preuves les années précédentes, la deuxième console a de nouveau été installée dans le hangar. Les opérateurs ont ainsi pu s'entraîner et découvrir d'autres fonctions du système.
- Les spécialistes de mesure de la radioactivité, les techniciens et les pilotes de l'équipe d'aéroradiométrie disposent d'un excellent niveau de formation et d'entraînement.

Annexe A : Généralités

Comment fonctionne l'aéroradiométrie ?

La [fiche technique 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 N° 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 isotopes 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. Estimation 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 d'énergie 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 m²). À titre de comparaison, les mesures au sol ne couvrent qu'une surface de 80 m².

Résultats des mesures effectuées au voisinage 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 ¹⁶N parvient à la salle des machines avec la vapeur. Le toit de cette salle étant relativement peu blindé, le rayonnement gamma du ¹⁶N 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.