



Fachkommission für Hochspannungsfragen
Commission d'étude des questions relatives à la haute tension

Prestations de service de la FKH





Sommaire

Qu'est-ce que la FKH?	4
Essais sur les câbles	6
Essais sur les postes électriques	8
Mesures de mise à la terre	10
Contrôles et diagnostics des transformateurs	12
Analyses d'huiles isolantes	14
Études et conseils	16
Infrastructure disponible à Niedergösgen	18

Qu'est-ce que la FKH?

La Commission d'étude des questions relatives à la haute tension (FKH) est une association à but non lucratif qui propose des services d'essais modernes pour les composants des infrastructures de réseaux à haute tension. Grâce à ses expertes et experts et à ses installations d'essai principalement mobiles, la FKH s'est spécialisée dans les essais sur site, les montages d'essai flexibles dans son propre laboratoire ainsi que dans les mesures et analyses de diagnostic sur les équipements électriques haute tension. Nous assistons également nos membres et nos clients avec des conseils techniques et en mettant à leur disposition des études portant sur la qualité, le comportement en service et la compatibilité environnementale des composants des réseaux haute tension. Pour ses membres, la FKH constitue une plateforme d'échange de connaissances, et elle soutient les jeunes professionnels de la branche. Elle s'attaque aux grandes problématiques techniques liées aux infrastructures d'approvisionnement en énergie électrique et élabore des conseils techniques avec des comités d'experts. La FKH s'engage en faveur du développement et de la rationalisation des méthodes d'essai. L'objectif premier de la FKH est de favoriser une disponibilité élevée des équipements du réseau haute tension. Cette brochure a pour but de donner un aperçu de notre organisation, de nos objectifs et de nos prestations de service standards.

Lignes directrices

La FKH est une association neutre et indépendante, à but non lucratif, qui propose des services d'essai et de diagnostic et

partage son expertise dans le domaine de l'approvisionnement en énergie électrique et de la technologie haute tension. Les activités de l'association visent à promouvoir la disponibilité permanente, la performance à long terme et la sécurité de l'approvisionnement en énergie électrique dans toute la Suisse.

Depuis sa fondation en 1937, les objectifs de la FKH sont de nature exclusivement technique. Elle ne poursuit aucun but lucratif. Les ressources financières de l'association ne peuvent être utilisées qu'à des fins conformes aux statuts. Grâce à ses développements dans le domaine des techniques d'essai et de mesure, à ses publications et à sa participation active au sein d'organismes internationaux de normalisation et de comités d'experts, la FKH contribue à l'évolution des méthodes d'essai à l'échelle mondiale. Avec des colloques spécialisés et des plateformes d'échange d'expériences, la FKH favorise le transfert de connaissances sur les dernières avancées scientifiques et les expériences pratiques en Suisse. La FKH entretient en outre des contacts actifs avec l'EPFZ et l'EPFL ainsi qu'avec de hautes écoles spécialisées et participe à des projets de recherche. Elle contribue ainsi au renforcement de l'attractivité des disciplines liées aux technologies énergétiques et fait le lien entre l'enseignement supérieur suisse et les entreprises du génie électrique.

Le personnel de la FKH accompagne ses clients lors de la mise en service et du diagnostic des équipements haute tension, en proposant des services d'essais sur site et dans la station d'essai de la FKH. Le cas échéant, il aide à identifier, localiser et résoudre les problèmes. Pour répondre aux problématiques, nous nous appuyons sur une méthodologie scientifique et misons sur des techniques d'essai spécialisées et extrêmement précises.

La FKH est composée d'une équipe expérimentée et bien rodée, regroupant des expertes et experts capables de réagir rapidement si nécessaire et de mener à bien des campagnes d'essais, même complexes. La FKH propose un service complet, allant du conseil sur les critères d'essai et la planification jusqu'à la réalisation des essais à l'aide de ses propres appareils d'essai et de mesure.

Dans le cadre de ses services de conseil, la FKH propose des études théoriques et expérimentales, des analyses et des essais



Illustration 1: Essai sur câbles avec inductances de résonance série

visant à clarifier toutes les questions et tous les phénomènes survenant lors de la conception, de la construction et de l'exploitation d'installations d'approvisionnement en énergie, en particulier dans les domaines de la technologie de la haute tension et des courants forts. En outre, des activités de recherche autonomes et axées sur la pratique sont proposées en collaboration avec des établissements d'enseignement supérieur, des fabricants et des opérateurs de réseau.

Infrastructure

Outre ses systèmes mobiles et modulaires comprenant des installations de résonance série, des sources d'essai pour transformateurs, des installations de mesure de mise à la terre et des générateurs de chocs (choc de foudre BIL, choc de manœuvre SIL et choc de foudre oscillant OLI), la FKH dispose de diverses possibilités et de plusieurs laboratoires d'essais sur son site de Niedergösgen. En font partie une station d'essai extérieure, un petit laboratoire destiné aux montages de mesure de petite taille et un grand laboratoire pour différents essais. Ces installations et possibilités d'essai sont complétées par des équipements logistiques individuels, notamment des véhicules pouvant servir de laboratoires mobiles.

De plus, la FKH dispose d'un laboratoire accrédité pour les analyses concernant l'huile isolante. Outre les analyses diélectriques et chimiques, des méthodes spectroscopiques utilisant la GC, la HPLC et la FTIR sont disponibles.

Membres de la FKH

La FKH est une association qui compte parmi ses membres des entreprises d'approvisionnement en énergie (EAE), des exploitants de centrales électriques, des compagnies ferroviaires, des fabricants, des associations professionnelles et des établissements d'enseignement supérieur. En tant que membre de la FKH, vous bénéficiez d'une réduction spéciale sur les prestations fournies



Illustration 2: Installation de résonance série dans le grand laboratoire d'essais

dans le cadre des services d'essai ou des études. De plus, les collaboratrices et collaborateurs des entreprises membres profitent d'un tarif préférentiel s'ils souhaitent participer au colloque organisé chaque année.

Qualité et sécurité

La FKH propose ses services conformément à des normes internationalement reconnues et a mis en place un système de gestion certifié selon ISO 9001 et ISO 45001. Le laboratoire d'huiles isolantes est accrédité en tant que laboratoire d'essais de type B pour l'huile isolante et le gaz de défaut (relais Buchholz), conformément à la norme ISO/IEC 17025.



Illustration 3: Échantillons d'huile pour l'analyse des gaz dissous

Pour plus d'informations, veuillez vous adresser à

info@fkh.ch

Essais sur les câbles

L'EPFZ et la FKH ont développé conjointement une technique d'essai en tension alternative sur site pour les câbles haute tension qui s'est imposée dans le monde entier. La FKH l'a introduite sur le marché dans les années 80. Elle repose sur le principe de la résonance série à fréquence ajustable. En complément des essais de tension, des méthodes de diagnostic sont proposées, notamment des mesures de décharges partielles.

Essais de haute tension sur les installations de câbles

Avant la mise en service d'une nouvelle installation de câbles ou à l'issue de travaux de transformation importants sur une installation existante, il est recommandé de procéder à un essai de tension pour exclure tout défaut au niveau du montage des terminaisons et des boîtes de jonction ainsi que tout endommagement de la gaine ou de la couche semi-conductrice.

Grâce aux essais de résonance série sur les câbles haute tension, l'expérience acquise par la FKH dans le domaine des essais sur câbles est de loin la plus vaste. Sur la base de cette expérience, une méthode d'essai plus stricte que celle recommandée par les normes actuelles s'est imposée en Suisse, avec une durée d'essai de 15 minutes et une tension légèrement plus élevée.

Essais de résonance série

Dans le circuit d'essai, une inductance de haute qualité est raccordée en série avec la capacité de l'objet en essai. Dans des conditions de résonance, une tension s'établit au niveau de l'objet en essai, qui est nettement supérieure à celle du transformateur d'alimentation. Pour les essais en tension alternative sur des tronçons plus longs de câbles isolés au XLPE et à l'EPR, seules les installations à résonance série sont envisageables comme sources d'essai haute tension, en raison du courant de charge élevé et de la puissance réactive importante. L'essai sur des installations de câbles à huile est aussi possible selon ce principe. Grâce aux inductances modulaires, l'installation d'essai peut être configurée pour une fréquence d'essai suffisamment élevée, de sorte que les transformateurs de mesure haute tension intégrés dans des PSEM n'atteignent pas la saturation magnétique et ne doivent pas être démontés pour l'essai. Les avantages de cette méthode résident dans la faible puissance d'injection requise, même lors d'essais sur des installations de câbles plus longs. De plus, la tension au niveau de l'objet en essai est sinusoïdale et exempte d'harmoniques. En cas de claquage, la conversion d'énergie minimale au niveau du point de défaut entraîne des dommages réduits par rapport à un événement similaire survenant en service. Il est possible de tester plusieurs liaisons par câble simultanément via un poste

	Tension nominale composée			Tension composée maximale			Tension de phase pour la détermination de la tension d'essai			Essai de tension en usine			Mesure DP en usine et sur site		Sur site - nouveaux câbles						Sur site - câbles anciens							
	U			U _m			U ₀			*U ₀	U _p	Durée	*U ₀	U _p	Selon CEI			Selon CH/FKH			*U ₀	U _p	t					
	[kV]			[kV]			[kV]								Tableau			ou bien										
	#			#			#								#	U _p	*U ₀	U	Durée	#	U _p	t						
												min				[kV]	[kV]	[kV]	min		[kV]	min		[kV]	min			
IEC60840	45 - 47	52	26	2.5	65	30	1.5	39	2.0	52		60	2.2	57	15	2.0	52		60	2.2	57	15	2.0	52	15			
	60 - 69	72.5	36	2.5	90	30	1.5	54	2.0	72		60	2.2	80	15	2.0	72		60	2.2	80	15	2.0	72	15			
	110 - 115	123	64	2.5	160	30	1.5	96	2.0	128		60	2.2	140	15	2.0	128		60	2.2	140	15	2.0	128	15			
	132 - 138	145	76	2.5	190	30	1.5	114	1.7	132		60	2.2	167	15	1.7	132		60	2.2	167	15	2.0	152	15			
	150 - 161	170	87	2.5	218	30	1.5	131	1.7	150		60	2.2	190	15	1.7	150		60	2.2	190	15	2.0	174	15			
IEC62067	220 - 230	245	127	2.5	318	30	1.5	190	1.4	180	1.7	216	60	2.0	254	15	1.7 ¹⁾	216	60	2.0	254	15	1.7 ¹⁾	216	15			
	275 - 287	300	160	2.5	400	30	1.5	240	1.3	210	1.7	272	60	2.0	320	15	1.7 ¹⁾	272	60	2.0	320	15	1.7 ¹⁾	272	15			
	380 - 400	420	220	2.0	440	60	1.5	330	1.2	260	1.7	374	60	1.8	400	15	1.7 ¹⁾	374	60	1.8	400	15	1.7 ¹⁾	374	15			

Illustration 4: Recommandation d'essai de la FKH pour les installations de câbles

¹⁾ La marge d'isolement à justifier doit tenir compte de la suite prévue de l'exploitation du système de câbles. La marge nécessaire résulte de la durée de vie restante requise pour le système de câbles ainsi que de l'amplitude des surtensions prévisibles en service. Ces dernières peuvent être estimées sur la base de l'expérience acquise jusqu'à présent ou d'après des considérations relatives à la coordination de l'isolement. Si l'on vise une durée de vie restante réduite pour les systèmes de câbles et que, compte tenu des conditions d'exploitation du câble, les surtensions sont peu probables, le facteur de tension d'essai peut être ramené à 1,5 pour les systèmes à partir de 220 kV.



Illustration 5: Installation de résonance série pour un essai sur câbles sans mesure des décharges partielles

électrique, ce qui ne présente aucun risque pour le poste soumis également à l'essai.

Mesure des décharges partielles

Pour les tronçons de câbles importants et les niveaux de tension élevés, il est également recommandé de procéder à une mesure des décharges partielles. Cette dernière permet de vérifier de manière ciblée l'absence de défauts d'isolement au niveau des terminaisons et des boîtes de jonction. On peut ainsi détecter

les défauts qui, bien qu'ils n'entraînent pas encore de claquage immédiat, comportent un risque de défaillance inattendue de l'isolement.

Grâce aux appareils modernes de mesure des décharges partielles utilisés par la FKH, des mesures synchronisées effectuées à différents endroits sont possibles. Pour pouvoir procéder aux mesures sur tous les points en même temps, il faut au préalable installer des liaisons par fibre optique entre tous les capteurs.



Illustration 6: Installation d'essai par résonance pour un système de câbles de 220 kV avec mesure des décharges partielles

Offre pour les essais sur les câbles	Remarques
Essai en tension alternative	Essais de résonance série pour les systèmes de câbles de tous niveaux de tension Disposition flexible des inductances de résonance pour les hautes tensions et/ou les longs systèmes de câbles Permet de contrôler le montage sur site et la résistance de l'isolement des différents éléments installés
Essai en tension alternative avec mesure des charges partielles	Mesure des décharges partielles lors de l'essai en tension alternative avec découplage des décharges partielles au niveau de tous les accessoires de câbles (terminaisons et boîtes de jonction). Recommandé surtout à partir du niveau de tension de 220 kV ou pour les systèmes de câbles critiques
Mesures d'impédance	Mesure de l'impédance des installations de câbles, en combinaison avec des lignes aériennes également
Contrôles des gaines	Contrôles de la gaine après le tirage des câbles et le montage de leurs accessoires

Tableau 1: Offre dans le cadre d'essais sur les câbles

Pour plus d'informations, veuillez vous adresser à

kabel@fkh.ch

Essais sur les postes électriques

Les postes électriques constituent des nœuds de réseau importants, devant présenter une très grande disponibilité. La durée de vie prévue est de 35 à 50 ans, période pendant laquelle le système d'isolement doit résister aux contraintes de tension sans entretien. Les statistiques montrent qu'environ 50% des défauts diélectriques constatés en service étaient déjà présents lors de la mise en service.

Depuis des décennies, la FKH contrôle de manière régulière des postes électriques sous enveloppe métallique (PSEM). Dans le domaine de la moyenne tension également, des postes électriques sous enveloppe métallique mais aussi des postes isolés dans l'air sont contrôlés. Que ce soit sur les installations classiques remplies de SF₆ ou celles utilisant d'autres mélanges de gaz isolants proposées par différents fabricants, la FKH peut, grâce à sa grande expérience, identifier et localiser efficacement les défauts.



Illustration 7: Installation d'essai haute tension pour un essai sur un PSEM de 145 kV (tension via un câble d'essai Connex de taille 6)

Essais haute tension et mesures de diagnostic: justification et avantages

Lors de sa mise en service, un poste électrique est généralement soumis à un essai de tension comprenant une mesure des décharges partielles. Même en cas d'extension d'une installation, il est judicieux de procéder à un essai complet. En cas d'incidents majeurs ou après le déclenchement d'un système de surveillance en ligne des décharges partielles, il est recommandé de procéder à des mesures des décharges partielles afin d'approfondir l'analyse.

Selon les circonstances, celles-ci peuvent être réalisées en service. La FKH fournit à sa clientèle des recommandations sur les spécifications et les procédures d'essai pour les postes électriques et l'accompagne depuis l'appel d'offres jusqu'aux essais d'isolement après le montage sur site. En cas d'incidents majeurs ou de pannes lourdes, elle aide la clientèle à établir un diagnostic et à déterminer les causes.



Illustration 8: Installation d'essai haute tension pour un essai sur un PSEM de 420 kV (tension via une traversée extérieure)

Équipements d'essai et de mesure

La FKH dispose des équipements d'essai et de mesure nécessaires pour tester un poste électrique, localiser le défaut, le caractériser et en circonscrire le type. Les postes sont soumis à un essai en tension alternative à l'aide d'une installation de résonance série. Les décharges partielles peuvent être mesurées de manière conventionnelle conformément à la norme CEI ou, dans le cas des postes électriques sous enveloppe métallique, à l'aide des capteurs UHF intégrés. Divers équipements servent à localiser les claquages ou les décharges partielles. D'une part, une localisation approximative peut être effectuée à l'aide du sectionnement de l'installation; d'autre part, la position plus précise de la source de la décharge partielle peut être déterminée à l'aide de mesures du temps de propagation électrique ou de méthodes de localisation acoustique des décharges partielles.

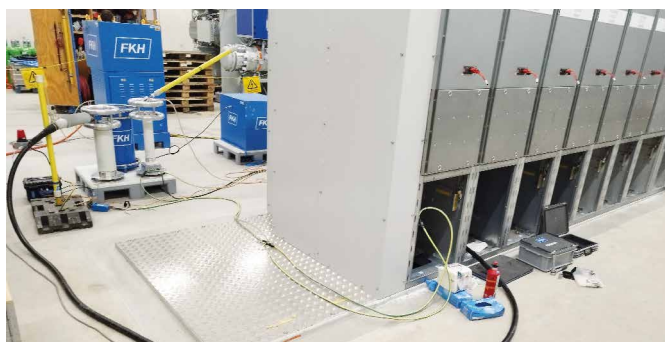


Illustration 9: Essai sur un poste moyenne tension

La méthode de mesure des DP en UHF à bande étroite, qui repose sur la sélection de la fréquence de mesure et l'utilisation de préamplificateurs de 50 dB, permet de mettre en évidence les défauts critiques présentant une très faible amplitude de DP (tels



Illustration 10: Poste de mesure des DP en UHF avec multiplexeur, analyseur de spectre et oscilloscope

que des particules sur un matériau isolant avec une amplitude typique $< 0,5$ pC). De tels défauts risquent d'entraîner un claquage en service en cas de sollicitations transitoires (par exemple, un coup de foudre ou des transitoires de manœuvre).

Offre pour les postes électriques	Remarques
Essai de tension avec mesure des charges partielles en UHF	Essai de tenue en tension en CA pendant 1 minute, suivi d'une mesure des décharges partielles en UHF à l'aide des capteurs UHF intégrés, afin de vérifier la résistance d'isolement après le montage sur site Au préalable, étape 2 du contrôle de sensibilité Cigré pour vérifier la sensibilité des capteurs installés (fonction, nombre, répartition)
Essai de tension avec mesure des charges partielles	Essai de tenue en tension en CA pendant 1 minute, suivi d'une mesure des décharges partielles à l'aide d'un condensateur de couplage externe, afin de vérifier la résistance d'isolement après le montage sur site En particulier pour les postes moyenne tension ou si aucun capteur UHF n'est disponible
Essais de tension	Essai de tenue en tension en CA pendant 1 minute En particulier pour les postes moyenne tension Exigence minimale pour le contrôle de la résistance d'isolement
Mesures de résistance	Mesure de résistance, phase par phase, d'une cellule à l'autre Pour le contrôle des points de contact
Mesure des décharges partielles en UHF en ligne	Mesure des décharges partielles en UHF à l'aide des capteurs UHF intégrés Pour vérifier l'état du système en cas de suspicion ou de valeurs d'analyse de gaz problématiques
Évaluation de l'état	Après des incidents majeurs ou en cas de valeurs d'analyse de gaz problématiques

Tableau 2: Offre dans le cadre des essais sur les postes électriques

Pour plus d'informations, veuillez vous adresser à

gis@fkh.ch

Mesures de mise à la terre

Afin de contrôler et d'évaluer l'efficacité de l'installation de mise à la terre des sous-stations et autres installations à courant fort, la FKH effectue des mesures de mise à la terre avec un système d'essai compact et mobile.

Principe de mesure

Avec la méthode courant-tension, un courant de défaut à la terre est généré par un convertisseur de fréquence mobile de 42 kVA et est injecté dans une boucle de défaut à la terre définie qui englobe l'installation de mise à la terre. Si possible, on utilise pour cela une ligne aérienne ou en câbles hors service, qui est mise à la terre dans la station opposée. Si la source de courant ne peut pas être installée au niveau de la sous-station à inspecter, l'injection peut avoir lieu depuis le côté opposé.

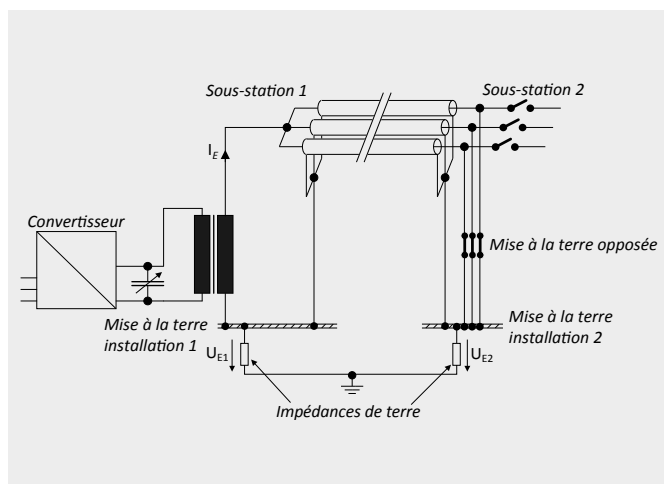


Illustration 11: Schéma de la mesure selon la méthode courant-tension

Le courant circulant entre les systèmes de mise à la terre de la sous-station inspectée et de la station dotée de la mise à la terre opposée génère les tensions de mise à la terre U_{E1} et U_{E2} . Celles-ci permettent de mesurer les tensions agissantes et de déterminer la répartition du courant. Tous les résultats de mesure sont extrapolés au courant maximal de défaut à la terre de l'installation inspectée.



Illustration 12: Source mobile pour la génération du courant d'essai de défaut à la terre

Le convertisseur de une fréquence différente à la fréquence du réseau (par exemple, 57 Hz sur les installations de 50 Hz). Pour l'adaptation d'impédance, la source est reliée à la ligne d'essai par l'intermédiaire d'un transformateur d'adaptation et d'une capacité de compensation variable. Comme le courant d'essai de défaut à la terre diffère de la fréquence de service, on peut distinguer clairement les courants de terre liés à l'essai de ceux liés à l'exploitation. Pour déterminer les tensions agissantes et l'entonnoir de potentiel, la FKH utilise des appareils de mesure équipés de filtres numériques qui empêchent que les résultats de mesure ne soient faussés par le fonctionnement de l'installation à 50 Hz ou par les courants de traction de 16,7 Hz.

Détermination des tensions de agissantes

Les tensions de contact, de pas et différentielles sont mesurées à l'intérieur de l'installation et dans ses environs. Les valeurs mesurées sont évaluées sur la base de l'ordonnance sur les installations électriques à courant fort en vigueur et du guide SNG 483755, 2023: «Mise à la terre comme mesure de protection dans les installations électriques à courant fort».

Mesure de l'impédance de mise à la terre des installations

L'évolution du potentiel en entonnoir est déterminée par la mesure d'un ou de plusieurs profils de tension radiaux jusque dans la zone de la terre neutre. La différence de potentiel entre la terre neutre et la terre de l'installation est rapportée au courant de défaut à la

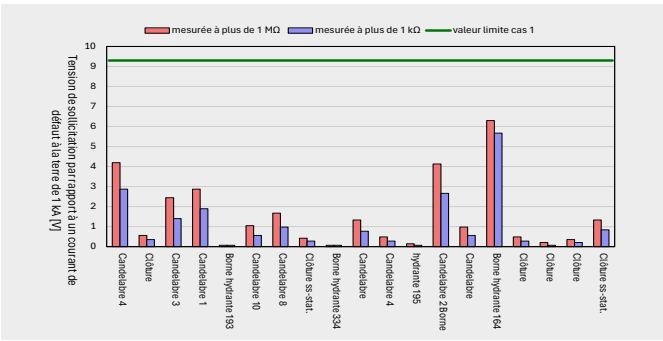


Illustration 13: Différence de tension de contact et de pas par rapport à un courant de court-circuit à la terre de 1 kA

terre injecté. Ce rapport permet de déterminer approximativement l'impédance de mise à la terre effective de l'installation. On mesure l'impédance directe ainsi que l'impédance homopolaire sur la ligne utilisée pour la boucle de défaut à la terre.

Mesure de la répartition du courant de défaut à la terre

Sur toutes les lignes et liaisons métalliques quittant la zone de l'installation, la part de courant de défaut à la terre est mesurée en amplitude et en phase. Il s'agit des connexions de mise à la terre, des câbles de mise à la terre des lignes aériennes, des écrans mis à la terre des câbles d'énergie et de signalisation, des conduites sous pression et des voies ferrées. Cette analyse fournit des in-

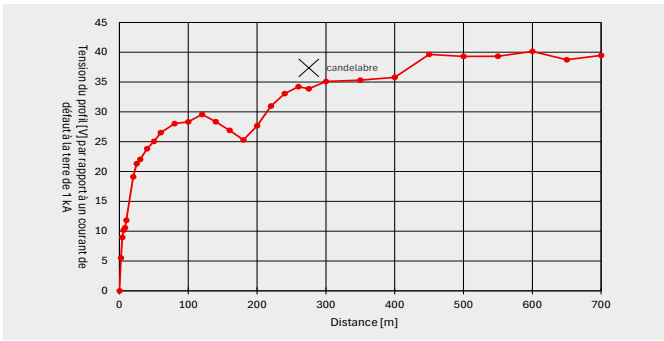


Illustration 14: Profil de l'entonnoir de tension

formations sur la répartition du courant en cas de défaut à la terre et permet de vérifier l'efficacité des connexions à la terre. De plus, cela permet de détecter d'éventuels risques d'influence dus aux courants de terre.

Documentation

La FKH établit ensuite un rapport contenant l'analyse des résultats de mesure. L'efficacité de l'installation de mise à la terre et les tensions agissantes survenant en cas de défaut à la terre sont évaluées et consignées. En cas de tensions de contact, de pas et différentielles supérieures aux valeurs admissibles, des mesures correctives appropriées sont proposées.

Offre pour les mesures de mise à la terre	Remarques
Mesures de mise à la terre des sous-stations	Requies tous les dix ans conformément à SNG 483755, 2023 Remorque de mise à la terre équipée d'une source de courant avec unité de compensation intégrée
Mesures de mise à la terre des installations de pylônes	Un appareil de mesure mobile permettant de mesurer l'impédance des pylônes est disponible
Analyse des perturbations électromagnétiques causées par des installations ou des puissances électriques	Divers paramètres sont contrôlés à l'aide d'appareils de mesure mobiles

Tableau 3: Offre dans le cadre de mesures de mise à la terre

Contrôles et diagnostics des transformateurs

Des essais sur site sont effectués aussi bien sur les transformateurs neufs que sur les transformateurs vieilliss. Lors des mesures de réception effectuées dans le cadre de la mise en service, l'accent est mis sur le contrôle du montage et de l'imprégnation d'huile ainsi que sur la caractérisation du transformateur à des fins de comparaison ultérieure (empreinte à l'état neuf). Les mesures de diagnostic effectuées sur les transformateurs vieilliss servent soit à évaluer l'état d'isolement, soit à déterminer s'il convient de continuer à les utiliser. Cela permet de définir les mesures de maintenance et de planifier les contrôles futurs. D'autre part, en cas de défaillance (par exemple, déclenchement du relais Buchholz, anomalies détectées lors des analyses de l'huile isolante), des mesures de diagnostic permettent d'en déterminer l'origine et de planifier les travaux de révision et de réparation nécessaires.



Illustration 15: Installation d'essai haute tension comprenant des inductances de compensation et des câbles pour le contrôle d'un grand groupe de transformateurs de puissance

Essai haute tension comprenant la mesure des charges partielles avec détection électrique et acoustique

La mesure des DP hors ligne sur un transformateur constitue l'essai le plus pertinent pour détecter les faiblesses locales en matière d'isolement et identifier les défauts. Elle est généralement effectuée à 120% de la tension assignée pendant 60 minutes. Dans la mesure du possible, des décharges partielles sont découplées électriquement sur toutes les bornes disponibles et enregistrées.

Pour cela, nous disposons d'un système moderne de mesure des décharges partielles permettant de contrôler intégralement (sur toutes les bornes) même les transformateurs de puissance de grande taille. Il est également possible de détecter les décharges partielles à l'aide de la méthode de mesure en UHF, à condition que des capteurs UHF soient installés.



Illustration 16: Mesure des décharges partielles à l'aide d'un laboratoire mobile (installé dans une camionnette) et d'une remorque d'essai

Mesures de diagnostic et d'empreinte

La FKH dispose également de vastes connaissances et d'une longue expérience dans le domaine du diagnostic des transformateurs. Il existe différentes méthodes de diagnostic qui peuvent être utilisées, d'une part, pour effectuer des contrôles réguliers et, d'autre part, pour détecter les défauts.

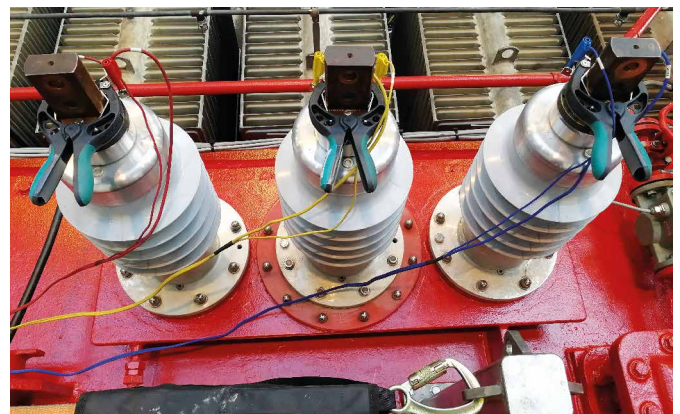


Illustration 17: Traversées BT avec câblage pour les mesures de résistance CC et de rapport de transformation

Offre pour les transformateurs	Remarques
Essai en tension alternative avec mesure des charges partielles	Essai en tension alternative triphasée à 1,2 U_r pendant 60 minutes avec mesure des charges partielles Mesure UHF possible si des capteurs sont disponibles Répartition de la tension similaire à celle du fonctionnement normal (à vide)
Mesure statique de la résistance des enroulements	Mesures de résistance à 4 fils Contrôle de la fonctionnalité des commutateurs et des changeurs de prises
Mesure dynamique de la résistance des enroulements (OLTC-Scan)	Mesures de résistance à 4 fils Diagnostic des changeurs de prises par la mesure des caractéristiques de commutation pendant le processus de commutation
Mesures de rapport de transformation	Comparaison entre la tension appliquée aux bornes HT et la tension résultante aux bornes BT/MT
Mesure du courant magnétisant	Enregistrement de la caractéristique du courant magnétisant Détection de dommages sur le noyau magnétique
Mesure FRA (Frequency Response Analysis)	Application d'une tension alternative à fréquence variable et amplitude fixe à une borne Mesure de la réponse en fréquence sur une autre borne Diagnostic par comparaison des réponses en fréquence avec les mesures effectuées lors de la mise en service ou en usine Détection des modifications de la géométrie (par exemple, enroulement déformé)
Mesure PDC/FDS (Polarisation/Depolarisation Current/ Frequency Domain Spectroscopy)	Détermination de la teneur en humidité de la cellulose Application d'une tension continue à un enroulement et mesure précise du courant sur le deuxième enroulement PDC: mesure dans le domaine temporel FDS: mesure dans le domaine fréquentiel
Mesure de résistance d'isolement	Mesure durant 1 minute avec tension continue Contrôle de l'isolement
Mesure C-tan(δ) sur les traversées et les enroulements	Mesure des capacités et des facteurs de perte Mesures à différentes tensions (jusqu'à 12 kV) et fréquences Contrôle de l'isolement de l'enroulement ou des traversées

Tableau 4: Offre dans le cadre d'essais et de mesures sur les transformateurs



Analyses d'huiles isolantes

L'analyse des liquides isolants joue un rôle clé dans l'évaluation de l'état des équipements du réseau électrique. Le laboratoire d'huiles isolantes de la FKH offre un large éventail de services, notamment des analyses précises et des interprétations fiables réalisées par des expertes et experts. Grâce à notre situation centrale en Suisse, nous pouvons intervenir rapidement auprès de notre clientèle. Le laboratoire d'huiles isolantes travaille conformément aux normes internationales. Il est en outre accrédité selon la norme ISO 17025 (Swiss Testing STS 581) et est certifié selon les normes ISO 9001 et 45001. Le laboratoire d'huiles effectue lui-même des prélèvements sur les transformateurs dans toute la Suisse. En cas de résultats critiques, la FKH peut apporter son expertise pour des examens diagnostiques complémentaires, car elle dispose d'une longue expérience en matière de contrôle des équipements haute tension.

Analyse diélectrique et chimique

L'analyse diélectrique et chimique selon CEI 60422 permet de déterminer l'état de vieillissement du système d'isolation huile-papier sur la base de paramètres clés pour l'huile isolante. La tension de claquage permet d'évaluer le pouvoir isolant de l'huile à un moment donné. L'indice de neutralisation (indice d'acidité) et la tension interfaciale sont des indicateurs très sensibles de l'état d'oxydation de l'huile isolante et du vieillissement de l'ensemble du système

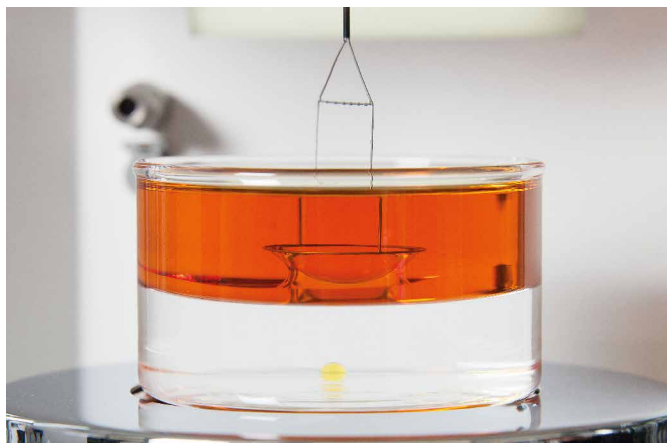


Illustration 18: Mesure de la tension interfaciale

d'isolation papier-huile. Ce sont des indicateurs précoces d'un risque de formation de boue. Une teneur en eau élevée détériore considérablement les propriétés isolantes de l'huile et accélère le vieillissement du papier et du carton comprimé. Le facteur de perte, la tangente delta, est un indicateur sensible pour mesurer la formation de produits de vieillissement conducteurs et la contamination de l'huile. La couleur et l'aspect indiquent en outre de manière simple mais révélatrice le vieillissement de l'huile. La teneur en inhibiteurs permet d'estimer la dynamique du vieillissement afin que une ré-inhibition puisse être effectuée à temps.

Analyse du furane

Divers dérivés du furane se forment pendant le vieillissement thermique de l'isolant solide (cellulose). L'analyse des furanes dissous dans l'huile permet d'évaluer la stabilité mécanique de l'isolant solide (papier, carton pressé).



Illustration 19: Flacons contenant de l'huile pour l'analyse des gaz de décomposition par GC

Analyse des gaz de décomposition

La détermination des gaz dissous dans l'huile (CEI 60567 et 60599) permet de détecter des défauts imminents, notamment la surcharge thermique locale du système d'isolation ou les décharges partielles.

Stabilité à l'oxydation

Lors de l'essai de stabilité à l'oxydation selon la norme CEI 61125, la qualité de l'huile est évaluée lors d'un essai de vieillissement

accéléralé, ce qui permet de prévoir son comportement tout au long de sa durée de vie.

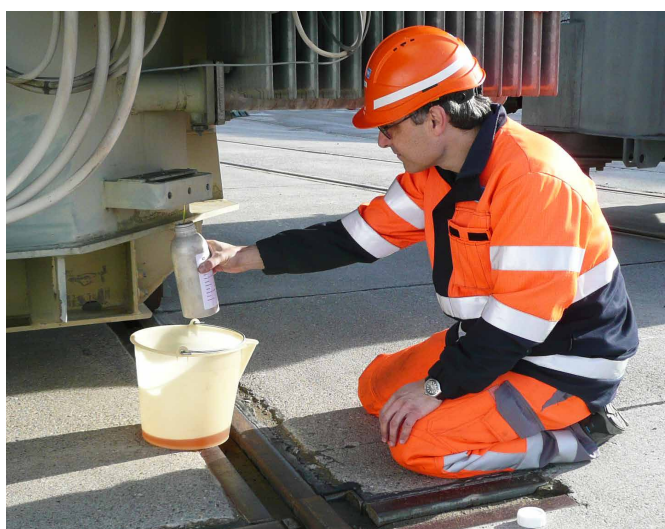


Illustration 20: Prélèvement d'un échantillon d'huile au niveau d'un transformateur

Essais spéciaux

Il est possible de faire appel à notre laboratoire pour des essais spéciaux. Les différentes options sont examinées en concertation avec le client.

Service d'urgence

En cas d'incident, tel qu'une alerte provenant du relais Buchholz, un employé de la FKH prélève généralement un échantillon en l'espace de quelques heures et l'analyse soit sur place, soit en laboratoire.

Rapport d'analyse

Notre rapport d'analyse contient une comparaison avec les résultats des mesures antérieures, une évaluation individuelle et des recommandations pratiques concernant l'équipement contrôlé. Le rapport est rédigé par des experts. En cas de résultats critiques, le client est immédiatement informé et conseillé.

Offre pour les analyses d'huiles isolantes	Remarques
Analyse diélectrique et chimique	Indice de couleur, aspect, teneur en eau, indice d'acidité, tension interfaciale, facteur de perte et tension de claquage selon la norme CEI 60422 Mesures individuelles à partir de l'analyse diélectrique et chimique
Analyse des gaz de décomposition	Analyse par chromatographie en phase gazeuse avec la méthode Headspace selon les normes CEI 60567 et 60599
Analyse du furane	Analyse HPLC avec séparation des différents dérivés du furane selon la norme CEI 61198
Détermination de la teneur en inhibiteurs	Analyse du spectre infrarouge au moyen de FTIR selon la norme CEI 60666
Essai de stabilité à l'oxydation	Vieillessement accéléré selon la norme CEI 61125
Analyse du gaz de défaut (relais Buchholz)	Analyse par chromatographie en phase gazeuse
Détermination des PCB	Test de réaction colorée (colorimétrie)
Test de détection du soufre corrosif	Essai de vieillissement selon la norme SN EN 62535

Tableau 5: Offre du laboratoire d'huiles isolantes

Pour plus d'informations, veuillez vous adresser à

oellabor@fkh.ch

Études et conseils

Des calculs pertinents sont essentiels pour le dimensionnement, la sélection et l'exploitation sûre des installations électriques. La FKH utilise toute une série de méthodes de calcul technique et de logiciels spécialisés pour analyser les systèmes électriques et les optimiser si nécessaire.

Calculs des champs E et B

Les champs électriques et magnétiques jouent un rôle important tant dans le dimensionnement des systèmes d'isolation que dans les questions de compatibilité avec l'environnement. La FKH utilise des outils de simulation pour analyser les systèmes et processus électromagnétiques dans les domaines statique, des basses fréquences et des hautes fréquences.

En outre, on effectue des calculs pour évaluer les effets des perturbations électromagnétiques générées par les installations à haute tension et à courant fort sur les câbles de communication et les canalisations, tant en fonctionnement normal qu'en cas de défaillance.

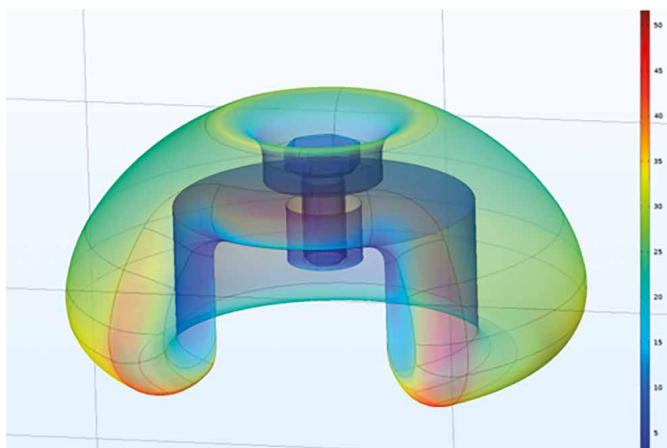


Illustration 21: Illustration des résultats d'un calcul de champ électrique en 3D sur une électrode de blindage

Calculs des transitoires de réseau

La FKH utilise des calculs numériques pour analyser les phénomènes transitoires dans les systèmes d'énergie électrique. On étudie notamment les phénomènes transitoires, tels que les

manœuvre, les surtensions de foudre ou des situations de défaut dans les réseaux haute tension.

En tenant compte des modèles dépendant de la fréquence, ces simulations permettent de reproduire plus fidèlement le comportement réel des réseaux électriques. Il est aussi possible de calculer avec plus de précision les surtensions et les courants transitoires, ce qui permet d'améliorer la conception des systèmes de protection et des équipements.

Il est généralement possible de répondre aux questions sur la coordination de l'isolement selon la norme SN EN 60071 concernant les surtensions de manœuvre (par exemple dans le cas des lignes, des transformateurs ou des installations de compensation) ou les surtensions de foudre et la propagation des ondes progressives qui en découlent. Les transitoires de défaut (phénomènes de court-circuit et de mise à la terre) ainsi que les courants d'enclenchement et les effets de saturation des transformateurs peuvent être déterminés à l'aide de ces modèles.

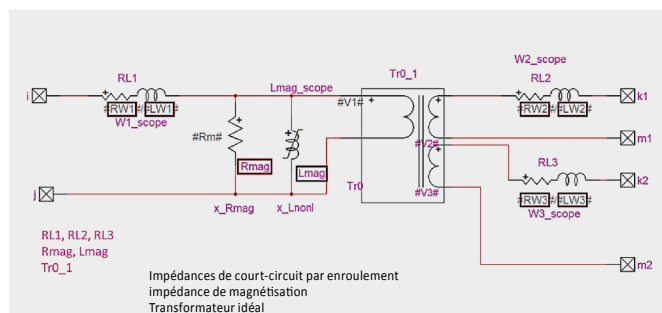


Illustration 22: Circuit équivalent monophasé d'un transformateur à trois enroulements, représenté dans un programme de calcul des transitoires de réseau

Calcul pour les installations de mise à la terre

Le dimensionnement des installations de mise à la terre est un élément essentiel des systèmes d'énergie électrique. Ces installations permettent de dissiper les courants de défaut vers le sol en toute sécurité et de limiter les tensions de contact et de pas dangereuses. Afin de vérifier l'efficacité des installations de mise à la terre des sous-stations et d'autres installations électriques, la FKH propose des calculs de mise à la terre et leur analyse, qu'elle peut

étayer par des mesures, par exemple de la résistivité du sol ou une mesure complète de la mise à la terre. Cela permet d'analyser les systèmes de mise à la terre dans des conditions proches de la réalité et d'obtenir un dimensionnement sûr. Un calcul de mise à la

terre comprend la modélisation du système de mise à la terre (en tenant compte des résistivités du sol éventuellement mesurées), le calcul de la résistance de mise à la terre et de l'entonnoir de potentiel correspondant.

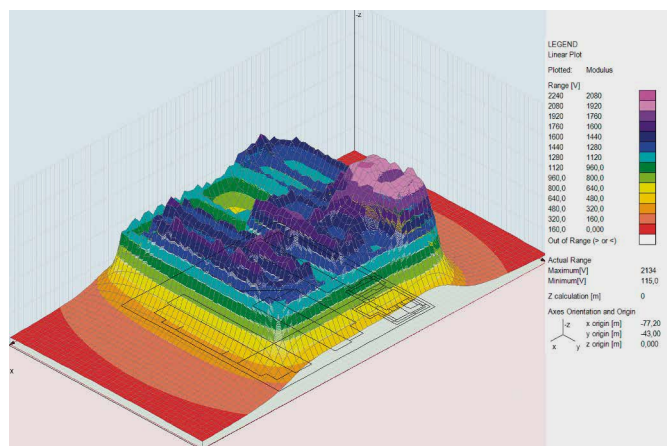


Illustration 23: Résultat d'un calcul de mise à la terre: potentiel du sol représenté sous la forme d'une surface tridimensionnelle à code couleur

Calculs du son lié à l'effet couronne

Pour la construction ou le remplacement des conducteurs des lignes aériennes, il est souvent nécessaire de faire réaliser des rapports d'expertise calculant les émissions sonores. À la FKH, on utilise le programme HVLBuzz pour ce type d'études. Ce programme a été développé par le laboratoire de haute tension de l'EPFZ et est géré depuis plusieurs années par la FKH qui n'a cessé de le perfectionner. HVLBuzz permet de calculer rapidement et facilement les émissions sonores dans la section transversale de la ligne aérienne (2D). Différentes formules de calcul se sont imposées dans les différents pays, elles peuvent être utilisées selon les besoins. Selon l'application, les résultats sont présentés sous forme graphique ou communiqués au client sous forme de valeurs numériques.

Offre pour les études et conseils	Remarques
Calculs des champs E et B	Simulation et analyse des champs électriques et magnétiques pour les systèmes d'isolation et les questions environnementales Évaluation de la compatibilité environnementale et des interférences électromagnétiques des câbles et des canalisations
Calculs des transitoires de réseau	Simulations de réseau avec EMTP Étude des phénomènes temporels (manœuvres, surtensions de foudre, cas de défaillance)
Calcul pour les installations de mise à la terre	Modélisation des systèmes de terre Calcul des résistances de terre et des entonnoirs de potentiel Combinaison de modélisation et de mesures sur site
Calculs du son lié à l'effet couronne	Réalisation d'études acoustiques pour la construction ou la rénovation de lignes aériennes. Utilisation du logiciel spécialisé HVLBuzz pour les émissions sonores en 2D Utilisation de formules de calcul différentes selon les pays, en fonction des besoins

Tableau 6: Offre d'études et de conseils

Pour plus d'informations, veuillez vous adresser à

studien@fkh.ch

Infrastructure disponible à Niedergösgen

Grand laboratoire d'essais

Les dimensions du grand hall d'essais de la FKH à Niedergösgen permettent de réaliser des essais avec une tension assignée de tenue au choc de foudre de 1050 kV en crête et une tension assignée de tenue de courte durée à fréquence industrielle de 460 kV_{eff}/1 minute sur des composants de la série 245 kV (CEI 60071-1).

Pour la génération de tension alternative jusqu'à 600 kV_{eff}, on utilise principalement des installations de résonance série, conformément aux pratiques en vigueur sur site. La fréquence d'essai peut être réglée à l'aide de condensateurs supplémentaires dans la plage de fréquence comprise entre 45 Hz et 65 Hz, conformément à la norme CEI 60060-1. Tous les composants de l'installation de résonance série sont exempts de perturbations HF. Dans notre hall d'essais entièrement blindés, il est ainsi possible d'atteindre un niveau de bruit de fond < 1 pC à la tension d'essai.

Les quinze étages du générateur de chocs modulaire Haefely de 1,8 MV (avec 180 kJ) peuvent être assemblés dans le laboratoire d'essais, ce qui permet d'atteindre des tensions de choc de foudre allant jusqu'à 1350 kV.



Illustration 24: Installation de résonance série (de gauche à droite: tour comportant trois inductances de 80 H montées en série, diviseur de tension capacitif, condensateurs supplémentaire et de couplage) destinée à un essai interne dans le grand hall d'essais



Illustration 25: Générateur de chocs de conception modulaire (avec 12 étages sur la photo). Au premier plan, le dispositif de charge; à gauche, le diviseur de tension de 1600 kV

Petit laboratoire

Le petit laboratoire permet de tester des composants d'installations pour de plus petites gammes de tension allant jusqu'à 72,5 kV. Il dispose de transformateurs haute tension et d'installations de résonance série. Grâce à l'infrastructure déjà en place, il est possible de préparer et de réaliser rapidement et facilement des essais de moindre envergure.



Illustration 26: Contrôle d'un câble d'essai à l'aide d'une installation de résonance série dans le petit laboratoire (de gauche à droite: câble d'essai, condensateur de couplage, inductance de résonance, diviseur de tension et condensateur de charge supplémentaire)

Site d'essai extérieur

La FKH dispose également de transformateurs d'essai classiques. Le transformateur d'essai de 1 MV de la société Moser Glaser AG est utilisé, outre pour les essais de tension de tenue à fréquence industrielle (à sec et en milieu humide) sur des composants en plein air, principalement pour des essais par paliers sur des câbles moyenne tension, soit dans la zone extérieure se trouvant devant le hall d'essais, soit à l'intérieur même du hall, par l'amenée de la tension par le portail principal. En extérieur, il est possible de réaliser des essais de choc avec des impulsions normalisées pouvant atteindre 1600 kV. Le transformateur d'essai de 400 kV à isolation gazeuse de la société Trench GmbH est installé sur une remorque et peut également être employé dans le hall d'essais si nécessaire.



Illustration 27: Transformateur d'essai de 1 MV de la société Moser Glaser AG



Illustration 28: Le transformateur d'essai de 400 kV à isolation gazeuse de la société Trench GmbH



Illustration 29: Mesure du champ magnétique sur un transformateur de distribution de 3,15 MVA

Devant le grand hall d'essais se trouve une zone couverte pouvant aussi être utilisée pour des essais tels que les essais sous pluie. Le site dispose d'autres emplacements se prêtant parfaitement aux essais de longue durée. Il est par exemple également possible d'effectuer des mesures de champs magnétiques (champ B) sur de grands transformateurs de distribution afin de confirmer la conformité à l'ORNI.



Illustration 30: Zone couverte devant le hall d'essais, avec un montage d'essai pour les essais par paliers, alimenté par le transformateur d'essai de 1 MV (à l'arrière-plan)

Pour plus d'informations, veuillez vous adresser à

info@fkf.ch



Siège social de la FKH

Hagenholzstrasse 81
CH-8050 Zurich
Tél.: +41 44 253 62 62

info@fkh.ch
www.fkh.ch

**Laboratoire d'huiles isolantes
de la FKH**

Andresenschachen 10
CH-5013 Niedergösgen
Tél.: +41 62 288 77 99

Station d'essai de la FKH

Andresenschachen 10
CH-5013 Niedergösgen
Tél.: +41 62 288 77 95