



Modèle d'estimation des coûts d'une campagne sismique

La sismique la plus onéreuse est celle qui n'est pas faite correctement. (Andreas Cordsen)

Table des matières

A. Bases	2
B. Planification	3
a. Analyse des données sismiques existantes	3
b. Synthèse des documents géologiques et géophysiques disponibles	3
c. Définition des cibles et de la structure	4
d. Étude de conception, estimation des coûts	4
C. Préparation	5
a. Procédure d'achat	5
D. Réalisation	5
a. Campagne de mesure	5
b. Demandes d'autorisation (<i>permitting</i>) / information aux propriétaires fonciers	6
c. Supervision	6
d. Règlement des dommages et des litiges (<i>claim settlement</i>)	7
E. Mesures d'accompagnement.....	7
F. Évaluation.....	8
a. Traitement des données sismiques (<i>processing</i>).....	8
b. Interprétation	9
G. Paramètres de mesure et coûts	9

Version 23.11.2022



A. Bases

La réalisation d'une campagne sismique est un vaste projet qui comprend les étapes principales suivantes: la planification, la préparation, les mesures sur le terrain, y compris mesures d'accompagnement, et l'évaluation.

Les mesures sur le terrain représentent, et de loin, la part la plus importante des coûts d'une campagne sismique: les aspects ayant une incidence sur les coûts sont expliqués au chapitre B.

Le succès des mesures et de l'évaluation qui permettront la réalisation des objectifs fixés implique cependant de nombreux autres travaux chronophages qui nécessitent beaucoup de préparation et qui, additionnés, occasionnent également des coûts de projet importants. Il faut veiller à prévoir assez de temps pour la réalisation de la campagne sur le terrain, afin de ne pas entrer en conflit avec les exigences réglementaires (p. ex. protection de la nature).

Le présent modèle décrit les principaux aspects d'une campagne sismique. En fonction de l'organisation en charge de la campagne, des parties du travail peuvent être effectuées par du personnel interne ou confiées à des mandataires et spécialistes externes. C'est pourquoi il est nécessaire d'en organiser la répartition au préalable lors de l'estimation des coûts. Que les travaux soient réalisés en interne ou en externe, le temps nécessaire et les coûts sont souvent sous-estimés.

Le plan conceptuel du projet comprend les sections suivantes:

- **Planification**
Cette phase définit les objectifs et l'étendue de la campagne de mesure de même que la géométrie de mesure optimale.
Elle est assurée par le promoteur de projet en prestation propre. Sur la base des résultats obtenus, il est possible d'estimer les coûts des mesures sur le terrain et des mesures d'accompagnement. Cette estimation des coûts sert de base pour solliciter des aides.
- **Préparation**
Après la confirmation du financement et le soutien de principe des autorités, cette phase consiste en la préparation concrète de la campagne sur le terrain: description des prestations et appel d'offres, autorisations et suivi des autorités, relations publiques, démarches préalables pour l'obtention des autorisations (*pre-permitting*), concept de traitement des données sismiques (*processing*) et concept d'interprétation.
- **Réalisation**
La phase de réalisation comprend les mesures sismiques proprement dites sur le terrain, ainsi que l'obtention des autorisations (*permitting*) et la supervision. En fonction de la zone de mesure, il est par ailleurs nécessaire de planifier des mesures d'accompagnement parfois importantes.
- **Évaluation**
Le mandant ou son représentant (superviseur) et le prestataire chargé du traitement des données sismiques (*processing*) recueillent déjà les données sur le terrain pendant la réalisation des mesures sismiques et effectuent un premier contrôle qualité (exhaustivité, conformité contractuelle, erreurs de géométrie). Dès que les travaux sur le terrain sont achevés, les produits à livrer dans le cadre du traitement des données sismiques, tels que définis au préalable, sont établis par un ou plusieurs prestataires et l'interprétation géologique est réalisée à l'échelon adéquat.



B. Planification

a. Analyse des données sismiques existantes

Dans de larges parties de la Suisse, en particulier dans le nord du pays, on dispose de données sismiques 2D de précédentes campagnes de mesure. Elles datent le plus souvent de quelques dizaines d'années et ne peuvent plus être retraitées dans bien des cas. Elles peuvent cependant fournir des indications importantes sur la qualité de la représentation du sous-sol. Les rapports de terrain et les protocoles de mesure peuvent en outre donner des informations sur les conditions de mesure à la surface (couplage, bruit, topographie). Dans les cas où d'anciennes données 2D (données *vintage*) sont disponibles dans un format industriellement compatible (SEG-Y) et sur des supports plus modernes (cartouches, disques durs), il vaut le plus souvent la peine de procéder à un retraitement des données (*reprocessing*) avec un logiciel et du matériel actuels. Cela permet de tenir dûment compte des éventuelles différences de cibles et de profondeurs cibles. Ces travaux doivent être effectués avant le dépôt de la demande.

Documents et informations à produire (*deliverables*)

Rapport succinct de géophysiciens/géologues sur les données sismiques de campagnes antérieures et leurs résultats, incluant les indications suivantes:

- nature de l'étude sismique (vibrations, tirs)
- difficultés rencontrées au cours de la réalisation (couplage, conditions de terrain)
- qualité des données, bruit
- qualité de la représentation et résolution
- leçons tirées des campagnes de mesure
- si possible, retraitement des données sismiques (*reprocessing*)
- si disponibles pour la zone de mesure prévue, autres données à analyser (gravimétrie, magnétotellurique).

Poste de coûts 1.1

Les coûts correspondent au chapitre 2.1, lettre b, annexe 12 de l'ordonnance sur le CO2 ou au chapitre 2.1, lettre b, annexe 2.5 de l'OEnE et peuvent donc être éligibles pour une contribution d'investissement pour la prospection. Les travaux relèvent de la catégorie "travaux de planification".

b. Synthèse des documents géologiques et géophysiques disponibles

Des géodonnées détaillées sont indispensables pour la planification, la préparation et l'évaluation de données sismiques 3D. Ces travaux doivent être effectués avant le dépôt de la demande. Les données suivantes doivent être disponibles au format électronique pour les étapes ultérieures:

- Carte nationale suisse au 1:25 000
- Modèle numérique de terrain (MNT) à 0,5 m
- Carte géologique
- Rapports sur la géologie locale et régionale
- swissTLM^{3D}
- Profils géologiques et, le cas échéant, diagraphies soniques (et autres *logs*) et données de profil sismique vertical (VSP) de forages antérieurs
- Modèles géologiques

Documents et informations à produire (*deliverables*)

Compilation de toutes les données dans les formats SIG et CAD usuels, licences éventuelles comprises. Documentation et remise avec bulletin de livraison. L'actualisation des différents jeux de données en cours de projet doit être documentée.



Poste de coûts 1.2

Les coûts correspondent au chapitre 2.1, lettre b, annexe 12 de l'ordonnance sur le CO2 ou au chapitre 2.1, lettre b, annexe 2.5 de l'OEnE et peuvent donc être éligibles pour une contribution d'investissement pour la prospection. Les travaux relèvent de la catégorie "travaux de planification".

c. Définition des cibles et de la structure

La définition de la structure des cibles est essentielle pour la suite de la planification. Cette structure est fixée sur la base des géodonnées établies selon la description ci-dessus. Les aspects importants (en fonction de la situation géologique) sont par exemple les suivants:

- profondeur et épaisseur
- étendue horizontale et verticale
- horizons de référence disponibles
- couverture verticale et latérale nécessaire
- défailances connues ou présumées

Documents et informations à produire (*deliverables*)

Rapport succinct sur l'objectif géologique. Ce rapport sert de base pour la suite de la planification et devrait être validé par la direction du projet et les dirigeants. Ce rapport correspond à peu près à un «avant-projet» et peut constituer une étape dans la démarche du promoteur pour faire autoriser son projet.

Poste de coûts 1.3

Les coûts correspondent au chapitre 2.1, lettre b, annexe 12 de l'ordonnance sur le CO2 ou au chapitre 2.1, lettre b, annexe 2.5 de l'OEnE et peuvent donc être éligibles pour une contribution d'investissement pour la prospection. Les travaux relèvent de la catégorie "travaux de planification".

d. Étude de conception, estimation des coûts

Dans une étude de conception de la campagne sismique, plusieurs configurations de mesure différentes sont établies et comparées au regard de l'objectif et de l'analyse des informations géologiques et géophysiques disponibles (*candidate designs*). Les paramètres essentiels sont la densité des points de réflexion sismique et des points de mesure, l'étendue de la zone à étudier et de la parcelle examinée (*patch*) et le type d'excitation sismique. L'étude devrait comparer différentes variantes (profondeur de la représentation, degré de détail) et présenter l'impact sur la géométrie de mesure (exigences techniques concernant les signaux émis et l'enregistrement des données, durée des mesures, coûts).

En plus de la conception de la campagne de mesure, le traitement des données nécessaire à la réalisation de l'objectif (migration temps/profondeur, déroulement chronologique) devrait être planifié à ce stade. Ces travaux doivent être effectués avant le dépôt de la demande.

Une fois l'objectif et l'étude de conception disponibles, il est possible de soumettre à l'OFEN une demande de contribution à la prospection pour la campagne sismique prévue.

Documents et informations à produire (*deliverables*)

Étude de conception d'un mandataire expérimenté, y compris analyse détaillée des différents paramètres de mesure et de leur impact sur la capacité de représentation de la campagne de mesure. Cette étude constitue la base de l'appel d'offres et du contrat qui sera ensuite conclu. Avec l'objectif géologique, c'est le document le plus important pour la planification du projet et un élément essentiel pour la demande de contribution à la prospection auprès de l'OFEN. Il s'agit de mettre en évidence la variante de conception qui est privilégiée et d'en prévoir une autre en option pour l'appel d'offres.

Les résultats et les valeurs empiriques de campagnes de mesure antérieures permettent d'évaluer les coûts avec une certaine précision.



Poste de coûts 1.4

Les travaux doivent être réalisés par des mandataires expérimentés à l'aide d'un logiciel de planification spécifique.

Les coûts correspondent au chapitre 2.1, lettre b, annexe 12 de l'ordonnance sur le CO2 ou au chapitre 2.1, lettre b, annexe 2.5 de l'OEnE et peuvent donc être éligibles pour une contribution d'investissement pour la prospection. Les travaux relèvent de la catégorie "travaux de planification".

C. Préparation

a. Procédure d'achat

Les mesures sur le terrain font généralement l'objet d'un appel d'offres public conformément à la législation sur les marchés publics. Il convient de rédiger le contrat selon les usages dans la branche et de tenir compte des normes internationales (p. ex. International association of geophysical contractors [IAGC], Land Seismic Surveys).

Documents et informations à produire (*deliverables*)

Documents de l'appel d'offres, description des prestations (y c. options), publication, entretiens avec les soumissionnaires, évaluation des offres, adjudication, contrat.

Poste de coûts 2.1

Les travaux doivent être réalisés par des collaborateurs ou des mandataires chevronnés avec une expérience dans le domaine et une connaissance des dispositions suisses et cantonales en matière de marchés publics. Il est possible de faire valoir les coûts auprès du promoteur du projet.

Les coûts correspondent au chapitre 2.1, lettre b, annexe 12 de l'ordonnance sur le CO2 ou au chapitre 2.1, lettre b, annexe 2.5 de l'OEnE et peuvent donc être éligibles pour une contribution d'investissement pour la prospection. Les travaux relèvent de la catégorie "travaux de planification".

Commentaire

Ces dernières années, les procédures d'appels d'offres pour des mesures sismiques en Suisse ont montré que la fourchette de prix proposés peut fluctuer en l'espace de quelques mois. Le classement des soumissionnaires variait par ailleurs fortement dans des appels d'offres successifs (alors qu'il s'agissait des mêmes soumissionnaires). Comme il n'y a que quelques prestataires en Europe pour de telles mesures, leur charge de travail et leur disponibilité sont souvent décisives lorsqu'il s'agit d'obtenir une offre intéressante. Procéder assez tôt à l'appel d'offres et à l'adjudication peut permettre des économies considérables.

D. Réalisation

a. Campagne de mesure

La réalisation des mesures sur le terrain constitue la phase essentielle de la campagne sismique. En général, les mesures sur le terrain commencent contractuellement après la mobilisation complète du matériel et du personnel ainsi que la réussite des tests d'acceptation. L'entreprise de mesure se charge alors de la mise en place du dispositif de câbles et de capteurs, de la collecte des données, de l'enlèvement ainsi que de la remise en état des parcelles de sa propre initiative (en plus des mesures liées aux forages, charges et explosions, le cas échéant). Les coûts sont précisés dans des contrats clés en main par point de réflexion, avec des prix fixes pour la mobilisation-démobilisation (*mob-demob*), les taux prévus en réserve (*standby*) et autres frais, et ne sont pas fractionnés. Un suivi étroit par le superviseur est indispensable.



Documents et informations à produire (*deliverables*)

Facturation selon mandat. Rapports journaliers et hebdomadaires, rapports de contrôle qualité et rapports finaux du mandataire et du superviseur, ainsi que toutes les données et informations d'accompagnement (données de calibrage, etc.) dans des formats définis au préalable.

Poste de coûts 3.1

Les coûts estimés selon le Survey Design et l'appel d'offres correspondent au chiffre 2.1, let. a de l'annexe 12 de l'ordonnance sur le CO2 ou au chiffre 2.1, let. a de l'annexe 2.5 de l'OEnE et peuvent donc être éligibles pour une contribution d'investissement pour la prospection. Justification des coûts par nombre de points vibrés ou par nombre de km de ligne sismique. Si des dépassements de coûts apparaissent au cours de la campagne de mesure, ils peuvent faire l'objet d'une demande ultérieure si elle est justifiée.

b. Demandes d'autorisation (*permitting*) / information aux propriétaires fonciers

En vue de la réalisation des mesures, le propriétaire de chaque parcelle à laquelle il est nécessaire d'accéder pour des mesures doit être informé. Cela implique une charge de travail en conséquence pour le personnel chargé d'obtenir les autorisations requises (*permit*). Pour les mesures 2D, une grande partie des parcelles appartient aux communes et au canton (routes, chemins piétons) ou aux propriétaires de grandes parcelles (agriculteurs, syndicats de chemins) et les propriétaires privés ne doivent être informés qu'à titre complémentaire. Pour les mesures 3D, un *permitting* complet pour toute la zone concernée par la campagne de mesure est généralement nécessaire. Il peut en résulter une charge de travail supplémentaire. Les autorisations manquantes (*no permit*) peuvent entraîner des retards considérables et/ou des pertes de qualité.

Gestion des autorisations sur le terrain (*on-line permit*)

La personne chargée de gérer les autorisations sur le terrain (*on-line permit*) accompagne les véhicules de mesure sur place et s'occupe de résoudre les problèmes concrets qui surviennent avec les riverains, de gérer les éventuels dommages, les fermetures de routes de courte durée, etc.

Les autorisations (*permitting*) peuvent être demandées par le requérant de sa propre initiative ou fournies par l'entreprise de mesure et faire partie du contrat d'achat. Il est recommandé de faire une distinction entre la partie technique (la démarche d'obtention des autorisations [*permit*] et l'interface avec l'équipe de mesure) et la partie impliquant des permitteurs (*permitters*) locaux, qui parlent la langue nationale et connaissent les circonstances locales.

Documents et informations à produire (*deliverables*)

Cahier des charges/mandat pour l'obtention des autorisations (*permitting*).

Poste de coûts 3.2

Les coûts selon l'acquisition/l'appel d'offres correspondent au chapitre 2.1, let. a, annexe 12 de l'ordonnance sur le CO2 ou au chapitre 2.1, let. a, annexe 2.5 de l'OEnE et peuvent donc être éligibles pour une contribution d'investissement pour la prospection. Justification des coûts par jour-personne*tarif journalier ou selon offre/mandat.

c. Supervision

Comme dans le domaine du bâtiment, il est courant que le client se fasse représenter par une personne chargée de surveiller et superviser l'équipe (*bird dog, crew supervisor*). Celle-ci est en permanence sur place, dans le bureau de l'équipe. Elle est présente aux réunions du matin et contrôle l'exhaustivité et la qualité des données livrées chaque jour. Par ailleurs, elle décide au cas par cas si des points doivent être supprimés ou déplacés, ou si la qualité des données est acceptable, par exemple en cas de pluie ou de bruit de fond, etc. La qualité et



l'étendue de cette supervision de l'équipe sont décisives pour le succès d'une campagne de mesure. Il est par ailleurs crucial que l'équipe possède toute l'expérience nécessaire.

Documents et informations à produire (*deliverables*)

Cahier des charges pour la supervision.

Poste de coûts 3.3

Les coûts selon l'acquisition/l'appel d'offres correspondent au chapitre 2.1, let. a, annexe 12 de l'ordonnance sur le CO2 ou au chapitre 2.1, let. a, annexe 2.5 de l'OEneR et peuvent donc être éligibles pour une contribution d'investissement pour la prospection.

d. Règlement des dommages et des litiges (*claim settlement*)

Il faut s'attendre à ce que les mesures sismiques provoquent des dommages, qu'il s'agit de régler par la suite (parfois déjà pendant la campagne de mesure). On distingue deux types de dommages:

- Dommages attendus, par exemple les champs endommagés par le passage des véhicules, le forage de trous de prospection dans des terres arables, etc. Ils sont déjà abordés par les permitteurs (*permitters*) avec les personnes concernées pendant la procédure d'obtention des autorisations (*permitting*), puis sont calculés à l'issue des mesures et font l'objet d'un règlement aux tarifs d'indemnisation en vigueur.
- Dommages inattendus aux chemins et aux bâtiments (aussi aux animaux de rente, poissons d'ornement, captages de sources). À cet égard, il est nécessaire de désigner des experts au préalable et, en cas de déclaration de sinistre, le dommage doit être rapidement expertisé avec les personnes concernées pour parvenir à un accord sur l'indemnisation. Ces cas de dommages sont rares, mais peuvent engendrer des coûts élevés dans certains cas.

Documents et informations à produire (*deliverables*)

Cahier des charges/mandat et concept d'indemnisation pour le règlement des dommages.

Poste de coûts 3.4

Les coûts des **dommages attendus** correspondent au chapitre 2.1, let. a, annexe 12 de l'ordonnance sur le CO2 ou au chapitre 2.1, let. a, annexe 2.5 de l'OEneR et peuvent donc être éligibles pour une contribution d'investissement pour la prospection. Les dommages inattendus ne sont pas éligibles.

E. Mesures d'accompagnement

En fonction de la structure du projet, des conditions qui prévalent dans la zone de mesure, du canton, etc., il est nécessaire de prévoir, en plus, un certain nombre de mesures d'accompagnement.

Suivi des autorités:

Il est nécessaire d'établir des documents techniques sur la réalisation opérationnelle de la campagne de mesure et, selon le canton, de faire approuver le cas échéant certaines parties des travaux sur le terrain par les autorités (sismique par explosion, vibrosismique, protection des sols, protection des eaux, protection de la nature).

Relations publiques, information des citoyens et des communes:

Dans les communes concernées, il est nécessaire de demander des autorisations pour utiliser les chemins et les routes. En outre, les fontainiers, les services des ponts et chaussées, le personnel forestier, etc. sont parfois impliqués. Il est indiqué d'organiser des séances avec l'administration communale et, le cas échéant, avec certains membres du conseil communal. Pour le public intéressé, il est recommandé d'organiser une «journée portes ouvertes» ou de mettre en place un site Internet et de l'actualiser sur une base journalière.



Conservation des preuves, mesures des secousses sismiques:

Les mesures des secousses sismiques peuvent être ordonnées par le requérant de sa propre initiative ou organisées par l'entreprise de mesure et figurer dans le contrat d'achat. Il convient de prévoir au préalable, en vue des éventuels dommages déclarés, comment ceux-ci seront enregistrés, expertisés et réglés. Le cas échéant, il est nécessaire de prévoir l'implication d'experts en constructions ou pouvant réaliser l'expertise des dommages causés aux chemins.

Régulation du trafic:

La régulation du trafic peut être assurée en grande partie par l'équipe de mesure. Sur les routes cantonales, il est toutefois nécessaire de mandater une entreprise certifiée.

Passage de câbles le long des voies ferrées:

Le passage de câbles le long des voies doit être réalisé par le personnel des CFF et annoncé assez tôt (et fait l'objet d'une indemnisation).

Documents et informations à produire (*deliverables*)

Plan de projet avec cahiers des charges / mandats pour les différents travaux.

Poste de coûts 4.1

Les coûts correspondent au chapitre 2.1, let. b, annexe 12 de l'ordonnance sur le CO₂ ou au chapitre 2.1, let. b, annexe 2.5 de l'OEnR et peuvent donc être éligibles pour une contribution d'investissement pour la prospection.

F. Évaluation

a. Traitement des données sismiques (*processing*)

L'entreprise chargée du traitement des données sismiques (*processing*) reçoit directement les données de l'équipe de mesure et procède à leur traitement. Plusieurs types de migrations temps et profondeur de volumes et sections, *prestack* et *poststack*, sont possibles, en fonction de l'objectif et de la problématique. L'étendue du traitement des données est déjà définie dans le concept de traitement des données. Dans un premier temps, le traitement des données devrait suivre la procédure standard pour les données 2D et 3D terrestres, selon la méthode de couverture sismique multiple (*common midpoint method* [CMP]) avec *dip moveout* (DMO). Dans un second temps, le traitement des données doit inclure une migration temps servant de point de départ pour des méthodes d'imagerie avancées telles que la migration profondeur *prestack* et la construction itérative de modèles de vitesse d'intervalle en profondeur.

Il est indiqué de mandater l'entreprise chargée du traitement des données sismiques dès le début des mesures sur le terrain et de faire contrôler régulièrement les données de terrain fournies. Il est ainsi possible d'éviter des incohérences dans les formats, les données géométriques, les paramètres de récolte des données, etc. Les travaux de traitement des données sismiques doivent également faire l'objet d'un appel d'offres: il est nécessaire de prévoir du temps en conséquence.

Documents et informations à produire (*deliverables*)

Cahier des charges / mandat pour le traitement des données sismiques (*processing*)

Poste de coûts 5.1

Les coûts correspondent au chapitre 2.1, let. c, annexe 12 de l'ordonnance sur le CO₂ et au chapitre 2.1, let. c, annexe 2.5 de l'OEnR et peuvent donc être éligibles pour une contribution d'investissement pour la prospection. Justification des coûts par nombre de points vibrés, par nombre de km de sismique ou par nombre de lignes sismiques.



b. Interprétation

Les différents volumes sismiques constituent la base pour l'interprétation géologique. Dans une première version, il est possible de procéder à une interprétation sur la base des premières étapes de traitement des données, avant d'affiner les résultats grâce au traitement avancé des données. Un logiciel d'interprétation basé sur le poste de travail est notamment utilisé pour visualiser le cube 3D avec analyses des attributs. Une modélisation 3D en aval et basée sur l'interprétation des données sismiques ne fait plus partie de ce poste de coût.

Documents et informations à produire (*deliverables*)
Cahier des charges / mandat pour l'interprétation.

Poste de coûts 5.2

Les coûts correspondent au chapitre 2.1, let. b, annexe 12 de l'ordonnance sur le CO2 ou au chapitre 2.1, let. b, annexe 2.5 de l'OEnR et peuvent donc être éligibles pour une contribution d'investissement pour la prospection.

G. Paramètres de mesure et coûts

En règle générale, des contrats clés en main sont conclus pour les mesures sur le terrain. Des coûts forfaitaires sont fixés par point de réflexion et par catégorie. Les coûts par point de réflexion s'obtiennent, en gros, en divisant les coûts journaliers pour l'ensemble de l'équipe par le nombre de points de réflexion par jour. Les aspects suivants jouent un rôle essentiel:

- Vibrosismique / sismique par explosion:
De manière générale, on effectue principalement des études par vibration de nos jours. On renonce souvent complètement à la sismique par explosion, pour laquelle il est nécessaire de prévoir un service supplémentaire chargé du forage, de la gestion des charges et des explosions ainsi que de la remise en état des parcelles cultivées. Une équipe de forage avec trois hommes et l'appareil de forage atteint un rendement journalier de quelques points par jour. En conséquence, les coûts par point d'explosion sont bien supérieurs à ceux d'un point de vibration. Mais les explosifs nécessitent généralement moins de points de réflexion que la vibrosismique. Enfin, une procédure d'autorisation séparée est nécessaire pour les explosifs et les détonateurs en cas de sismique par explosion en Suisse.
En fonction de la densité du réseau de mesure, de la topographie, de l'urbanisation et de l'exploitation des terres à des fins agricoles, il peut toutefois s'avérer indispensable de recourir aux explosifs pour disposer d'une représentation complète.
- Profondeur d'investigation:
Dans le cas de la vibrosismique, la profondeur de pénétration peut être gérée de plusieurs manières:
 - i) par la force exercée sur le sol (*ground force*) par les véhicules vibrants (taille/poids),
 - ii) par le nombre de vibrateurs qui injectent des vibrations en même temps et
 - iii) par le nombre de balayages (*sweeps*) par point de mesure.Le temps nécessaire à l'ensemble de vibrateurs pour traiter chaque point de réflexion découle des paramètres ci-dessus. Le nombre de points de mesure pouvant être réalisés par jour peut ainsi être déduit.

Sismique 3D

- Réseau de mesure:
Le réseau de mesure (sismique 3D) joue un rôle essentiel en ce qui concerne le temps nécessaire à l'ensemble de vibrateurs pour parcourir les différents points. En cas de grandes profondeurs d'investigation et si la distance entre les lignes de mesures est de 400 à 500 mètres, on emprunte le plus souvent une route traversante, le long de laquelle l'ensemble de vibrateurs peut travailler en



continu sur de longs tronçons et atteindre une bonne production. En cas de cible plate et avec une distance de 100 à 200 m entre les lignes de mesure, il est souvent nécessaire d'utiliser des chemins secondaires, des impasses ou des chemins de contournement qui réduisent parfois considérablement la production quotidienne et font augmenter les coûts par point de réflexion en conséquence. Par ailleurs, les montants versés à titre d'indemnisation peuvent augmenter en cas d'intervalles plus petits.

- Surface:

Le nombre de points de mesure dépend de la surface à mesurer (pour la sismique 3D) ainsi que du nombre de points de réflexion par km². La surface est ainsi le facteur de coûts le plus critique. Il faut tenir compte du fait qu'à la surface dont on aimerait représenter le sous-sol s'ajoutent les bords formant le *fold taper* et, selon la topographie, l'ouverture de migration. Ces surfaces additionnelles peuvent rapidement atteindre plusieurs centaines de mètres carrés.

Exemple: pour une petite campagne sismique 3D avec une surface à représenter de 5 km sur 5 km (soit 25 km²) à une profondeur de 2 km s'ajoutent p. ex. 900 m de *fold taper* et d'ouverture de migration. La surface de mesure atteint ainsi 6,8 km sur 6,8 km, soit 46 km² (ce qui représente 185% de la surface initialement prévue).

- Géométrie de mesure:

De manière générale, on peut estimer que pour un objectif d'investigation plus profond, deux conditions sont à remplir:

i) une plus grande surface de mesure en raison d'*offsets* (écart source-récepteur) plus longs pour enregistrer correctement les signaux réfléchis, et

ii) de plus grands écarts entre les lignes et les points de mesure, et donc moins de points de mesure par km².

Par contre, le temps investi par point de mesure est plus long et le coût par point de mesure est donc plus élevé.

Une cible plate nécessite des écarts plus faibles entre les lignes et les points et implique donc un grand nombre de points de mesures par km². La parcelle étudiée (*patch*), qui se déplace avec le point de vibration/d'explosion dans l'exploitation *roll along* sur l'ensemble de la surface de mesure, doit présenter des *offsets* et des azimuts adaptés à la profondeur cible.

Une combinaison entre une grande profondeur d'investigation et une haute résolution pour des structures planes conduit forcément à une augmentation des coûts et de la durée de la campagne de mesure. Il est donc essentiel de bien mettre en balance ces différents éléments.

Sismique 2D

- Géométrie de mesure:

La distance entre les géophones et la parcelle étudiée (*patch*) déterminent la charge de travail pour couvrir toute la ligne activement, et donc les coûts de personnel. La vitesse à laquelle les mesures sont effectuées, et donc les coûts, dépendent de la densité des points de réflexion. L'estimation faite à partir du nombre de points de mesure traités par jour et des coûts journaliers de l'équipe proposée dans la sismique 3D s'applique ici par analogie. Alternativement, de nombreuses entreprises estiment également les coûts en fonction de la longueur de la ligne sismique.