GLQ3205
Géophysique appliquée 2

Introduction

Gabriel Fabien-Ouellet
gabriel.fabien-ouellet@polymtl.ca

Été 2023

Plan du cours

1. Revue géophysique appliquée 1
2. Propriétés géophysiques
3. Méthodologie géophysique

1. Géophysique et géologie

Que veut-on savoir?

- Exploration: détecter un gisement/réservoir
- Minier: déterminer la teneur
- Contamination: déterminer les volumes de sol contaminé
- Hydrogéologie: Estimer la vulnérabilité d’un aquifère
- Géotechnique: Mesurer les modules élastiques des sols et des roches
- …

Que veut-on savoir?

- Exploration: détecter un gisement/réservoir
- Minier: déterminer la teneur
- Contamination: déterminer les volumes de sol contaminé
- Hydrogéologie: Estimer la vulnérabilité d’un aquifère
- Géotechnique: Mesurer les modules élastiques des sols et des roches
- …

Que veut-on savoir?

- Exploration: détecter un gisement/réservoir
- Minier: déterminer la teneur
- Contamination: déterminer les volumes de sol contaminé
- Hydrogéologie: Estimer la vulnérabilité d'un aquifère
- Géotechnique: Mesurer les modules élastiques des sols et des roches
- …

Que veut-on savoir?

- Exploration: détecter un gisement/réservoir
- Minier: déterminer la teneur
- Contamination: déterminer les volumes de sol contaminé
- Hydrogéologie: Estimer la vulnérabilité d’un aquifère
- Géotechnique: Mesurer les modules élastiques des sols et des roches
- …

Que veut-on savoir?

- Exploration: détecter un gisement/réservoir
- Minier: déterminer la teneur
- Contamination: déterminer les volumes de sol contaminé
- Hydrogéologie: Estimer la vulnérabilité d’un aquifère
- Géotechnique: Mesurer les modules élastiques des sols et des roches
- …

Mesures directes

Propriété géologique: Une propriété physique ou chimique qui a une interprétation directe pour une problématique géologique donnée. On l'appelle souvent aussi mesure directe.
Ex: La teneur pour l'exploitation d'une mine

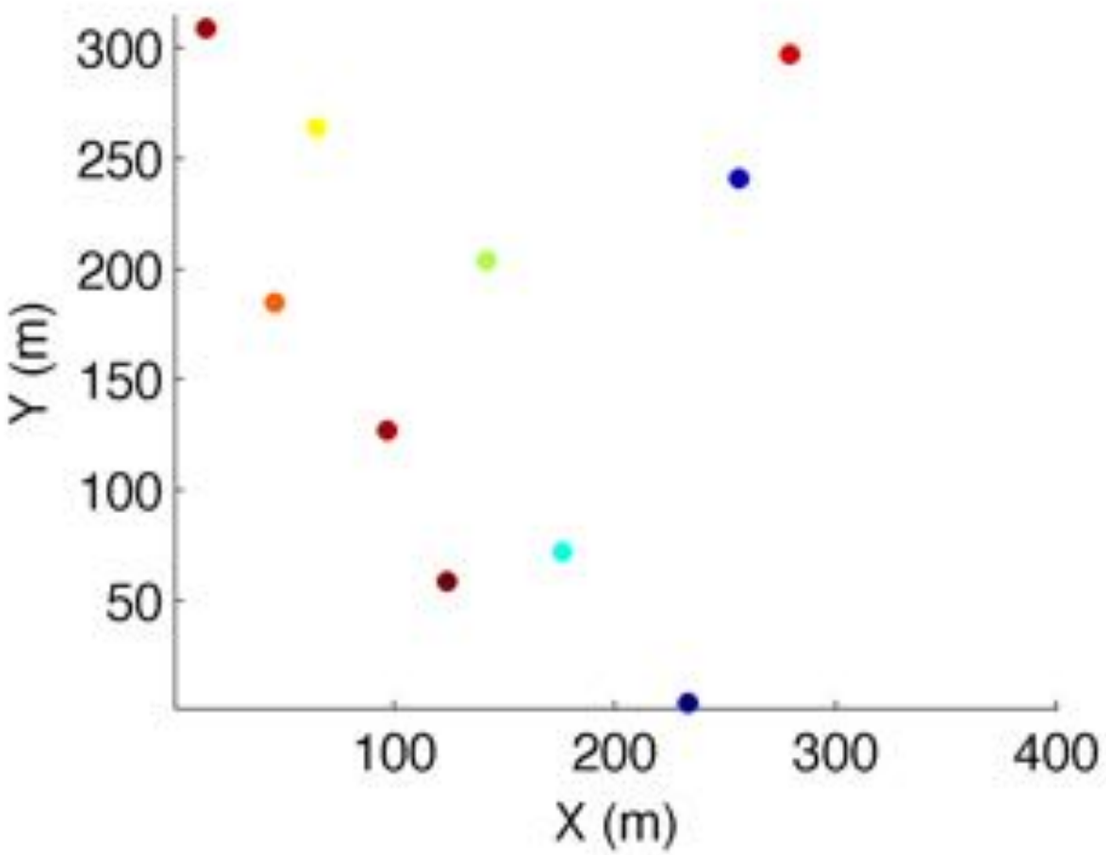
La plupart des problématiques en génie géologique requière l'estimation d'au moins une propriété géologique de la sous-surface. Leur mesure directe comporte des avantages et inconvénients:

Avantages
- Directement exploitable
- Souvent précises
- Méthodes éprouvées dont on connaît bien la réponse

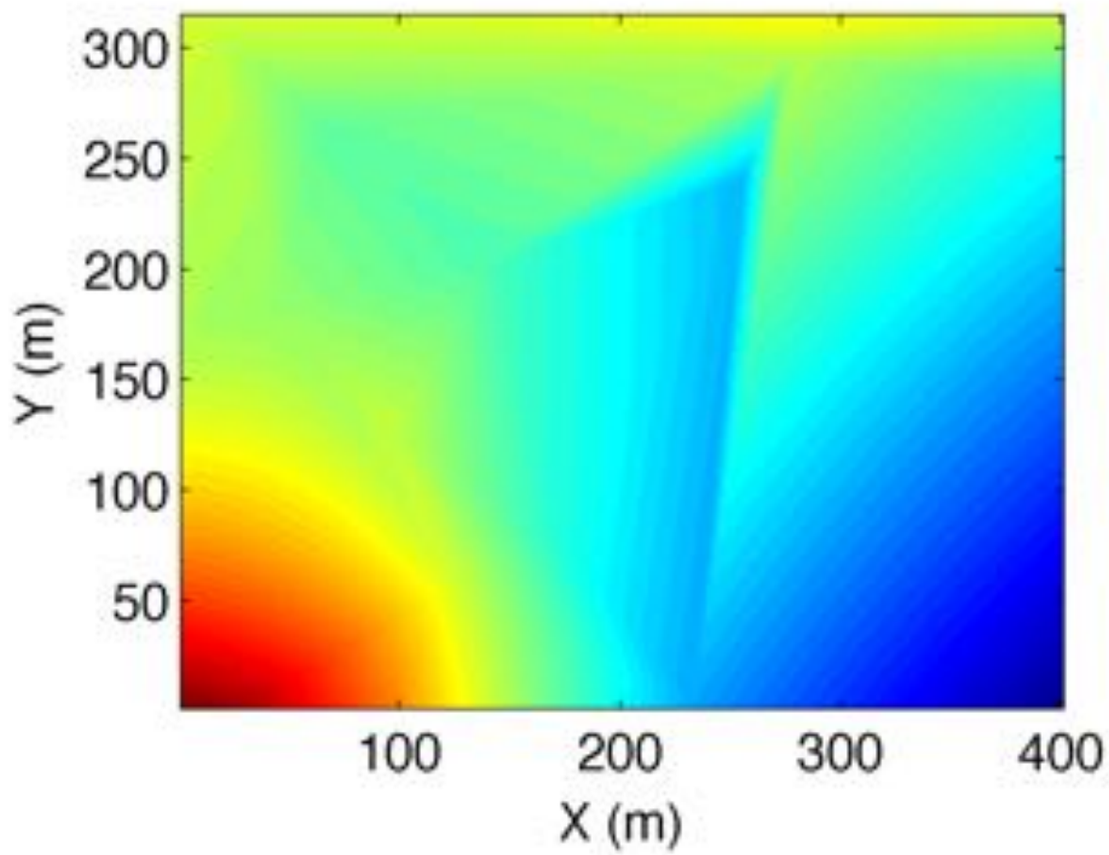
Inconvénients
- Nécessite l'accès physique des matériaux
- Mesures ponctuelles, pas toujours représentatives du volume
- Mesures et analyses couteuses

L’échec des mesures ponctuelles

10 points de mesure
$

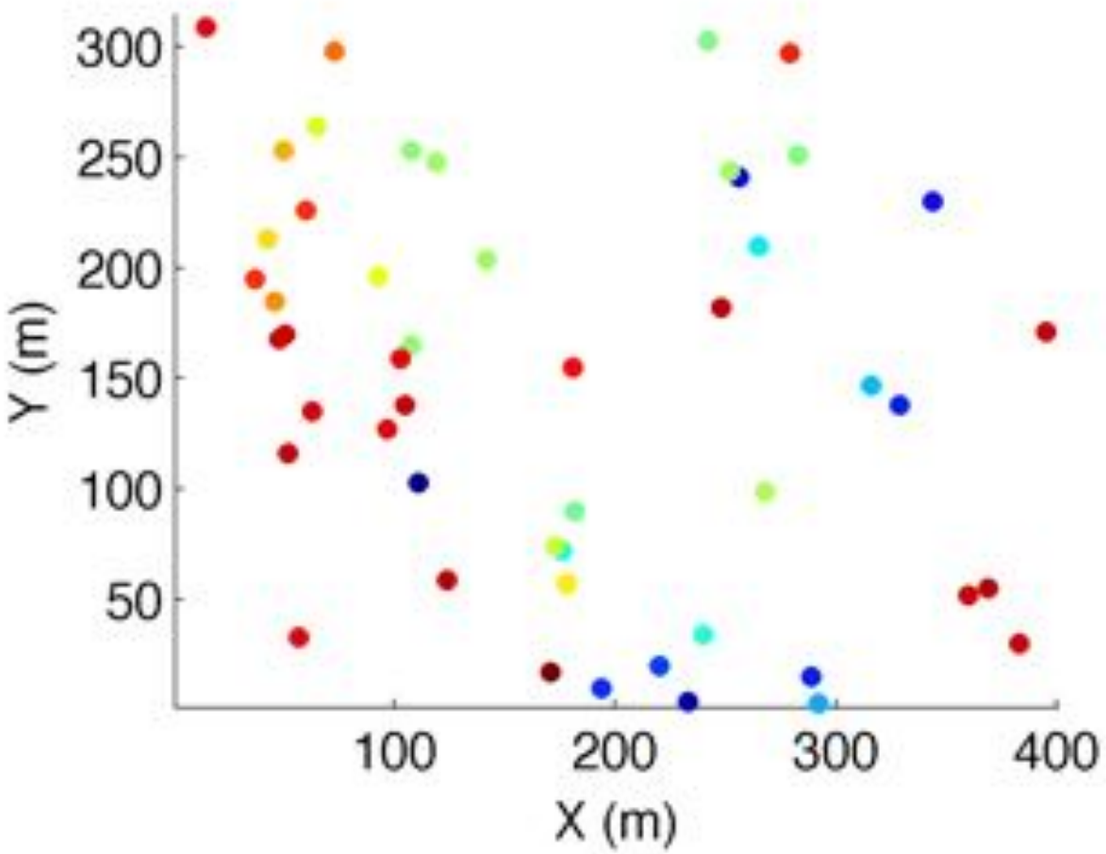


Interpolation linéaire

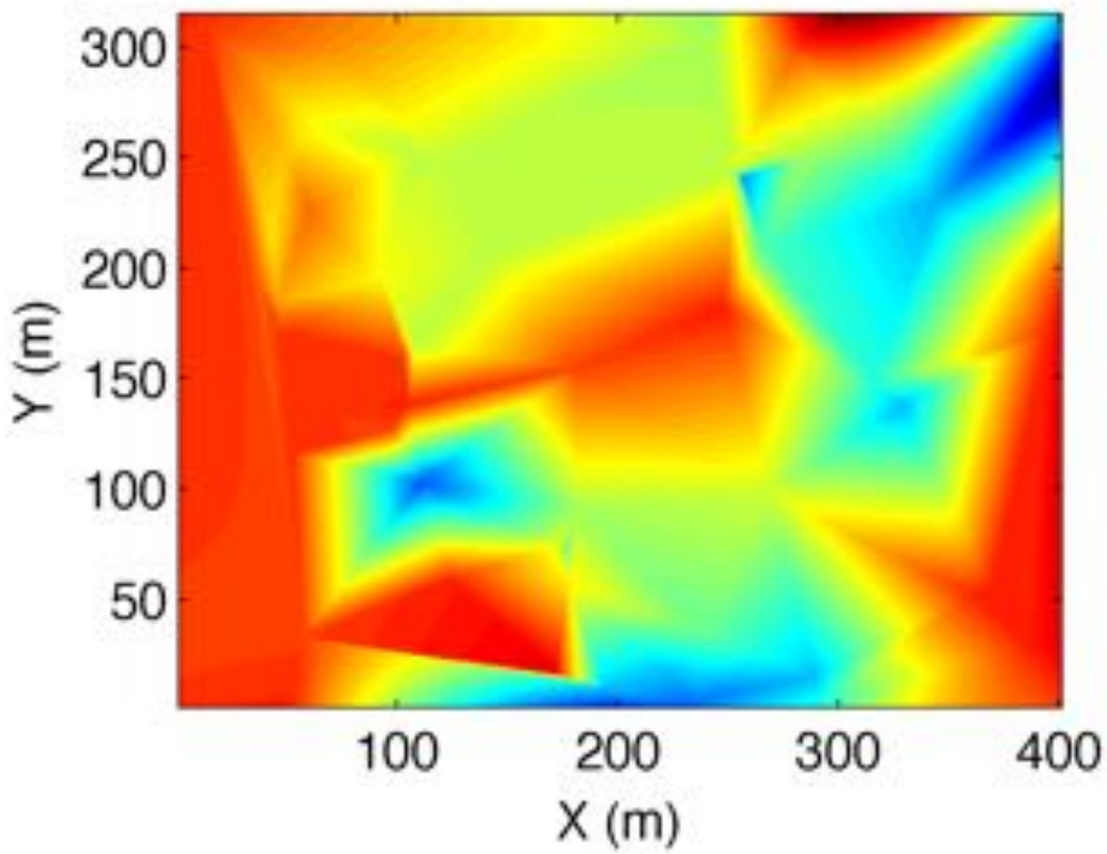


L’échec des mesures ponctuelles

50 points de mesure
$$

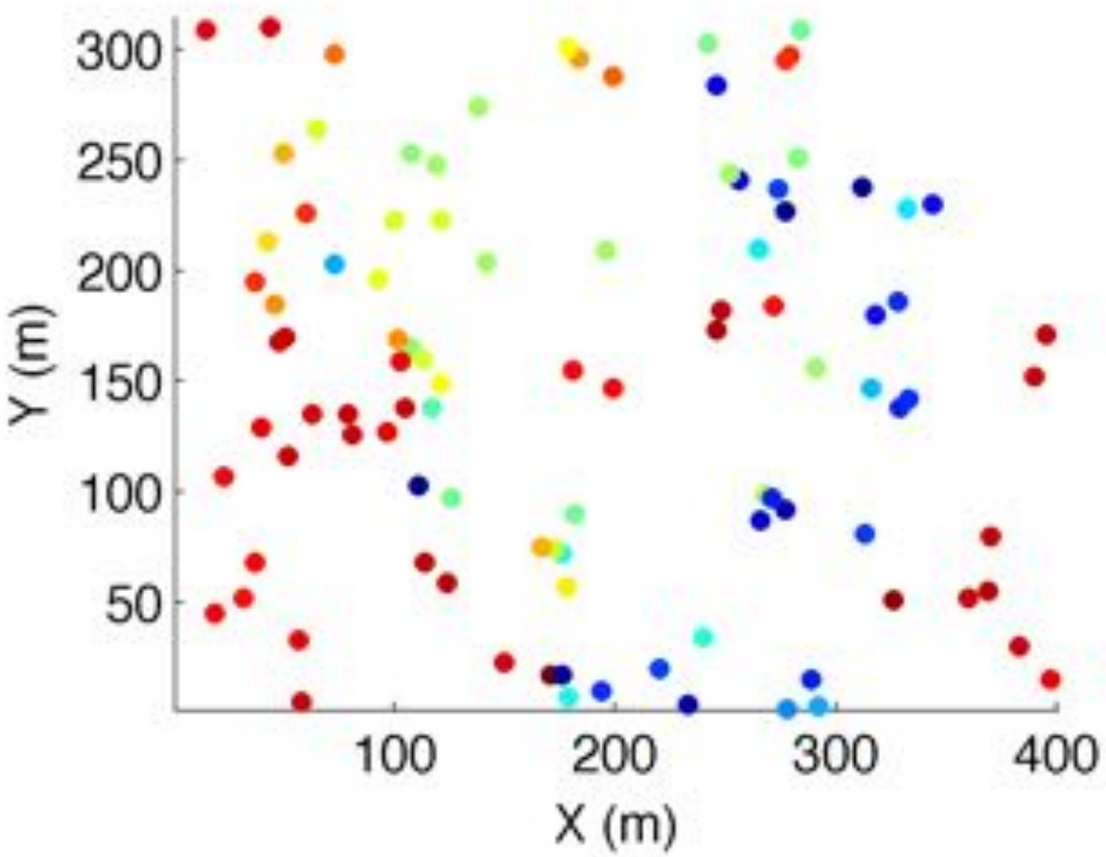


Interpolation linéaire

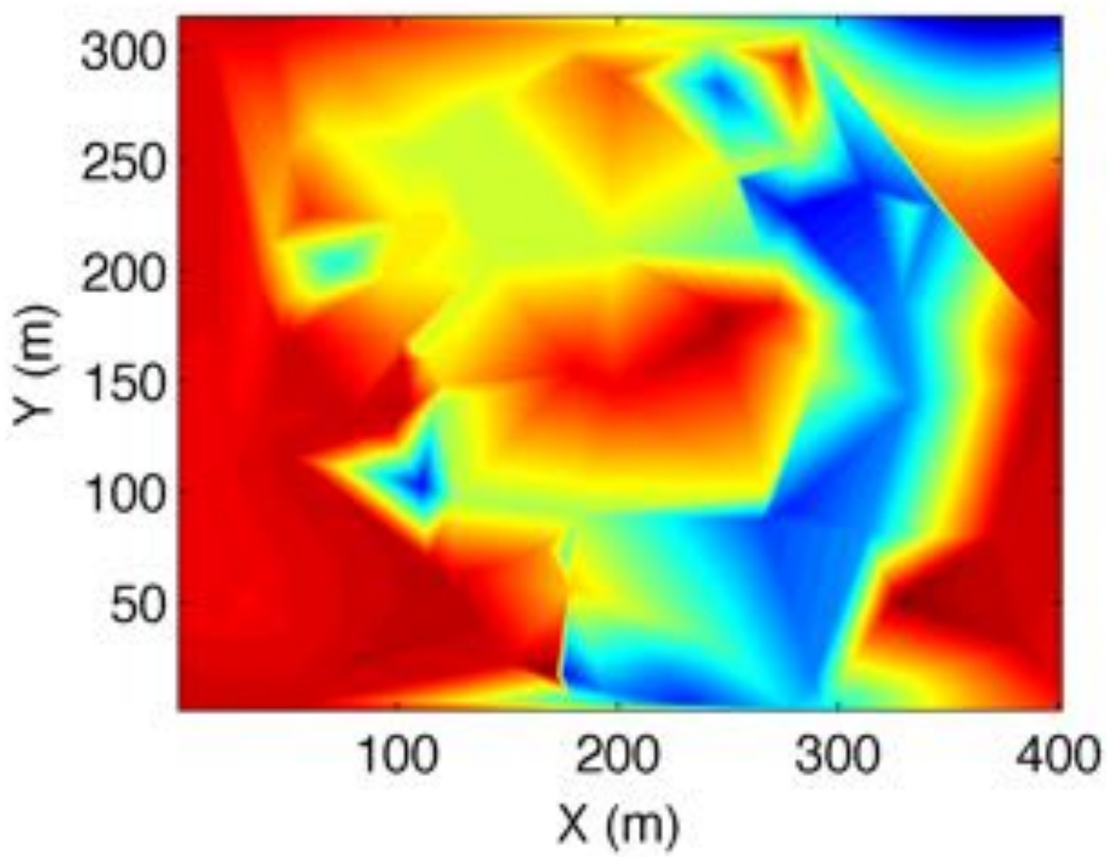


L’échec des mesures ponctuelles

100 points de mesure
$$$

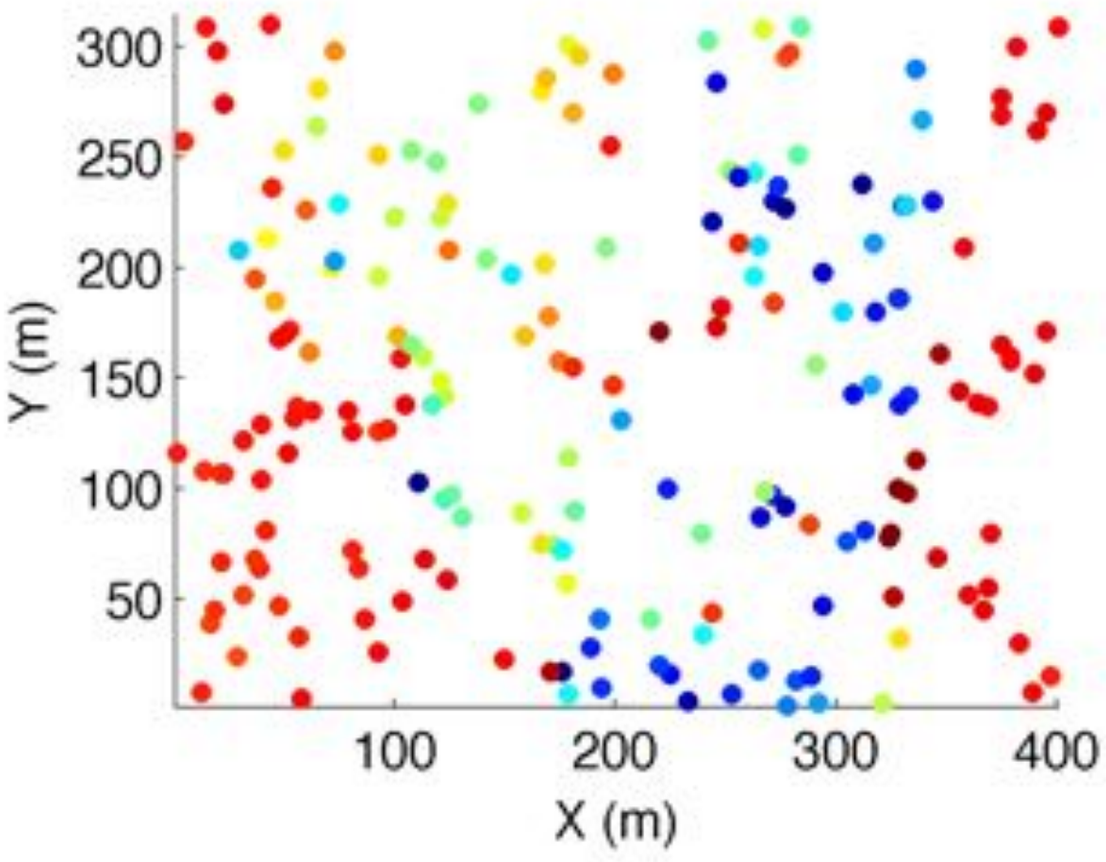


Interpolation linéaire

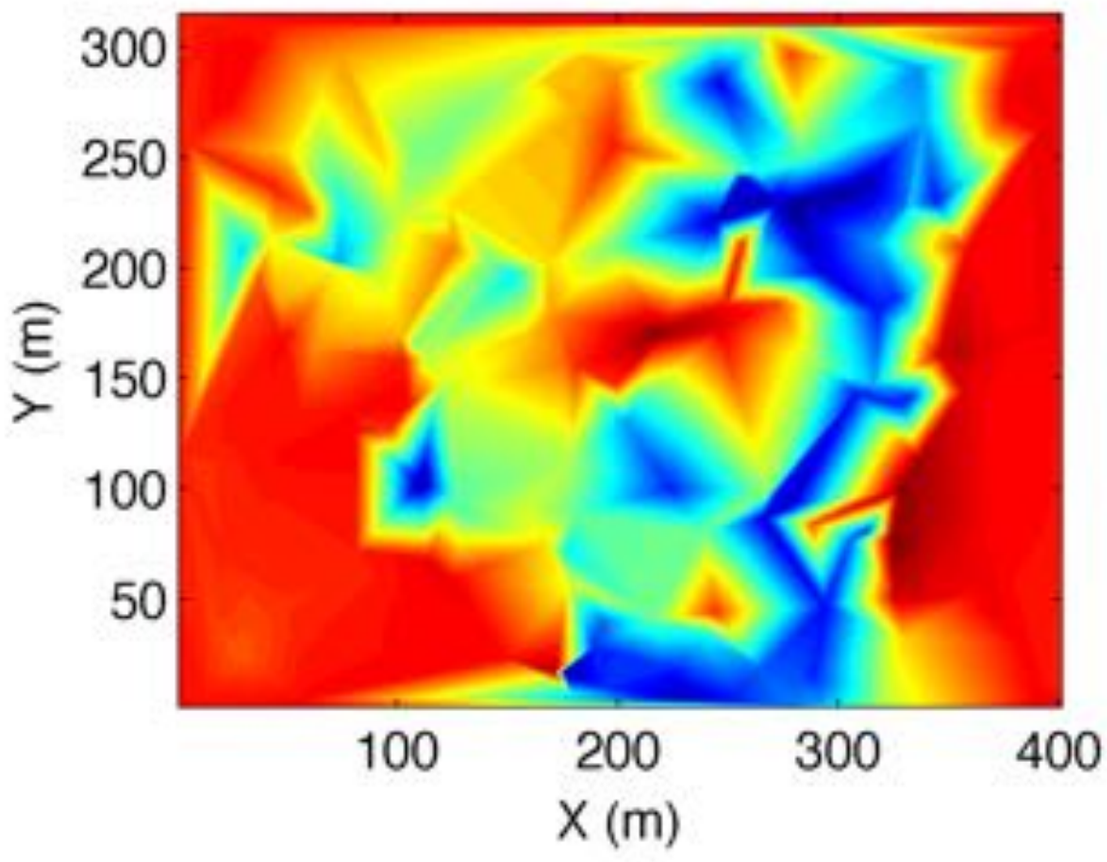


L’échec des mesures ponctuelles

200 points de mesure
$$$$

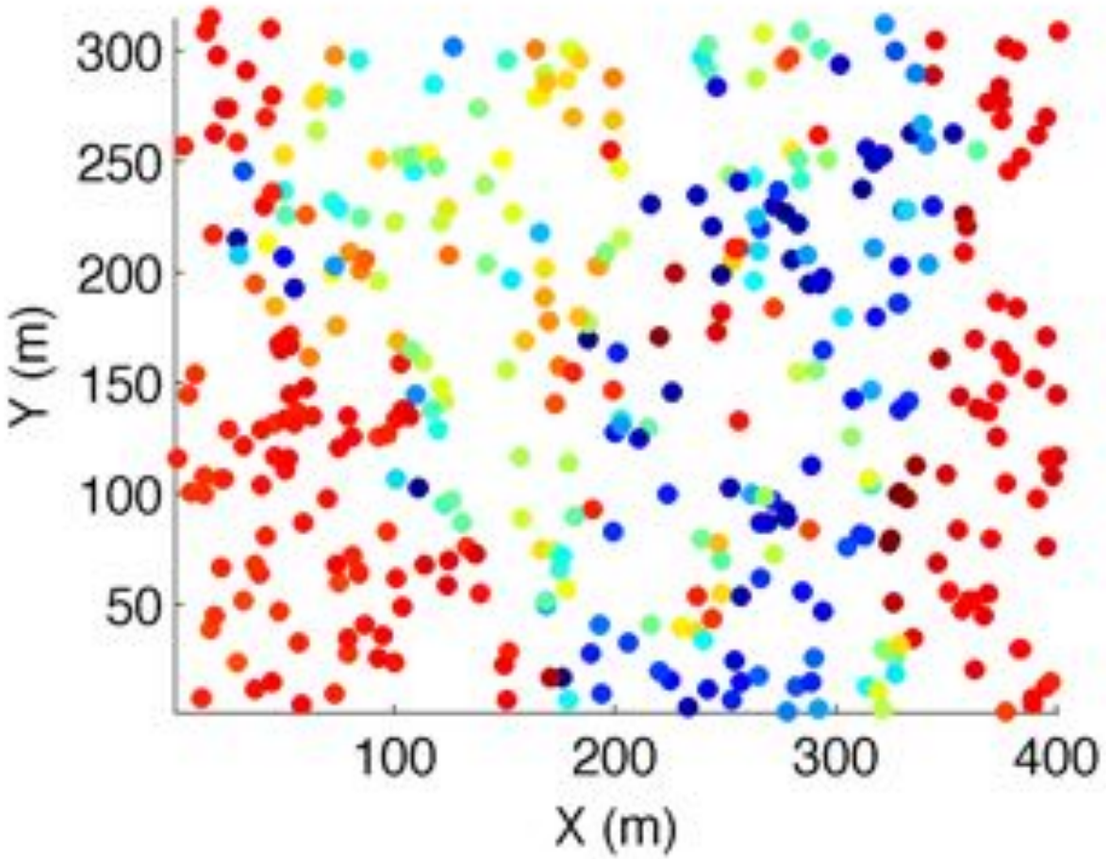


Interpolation linéaire

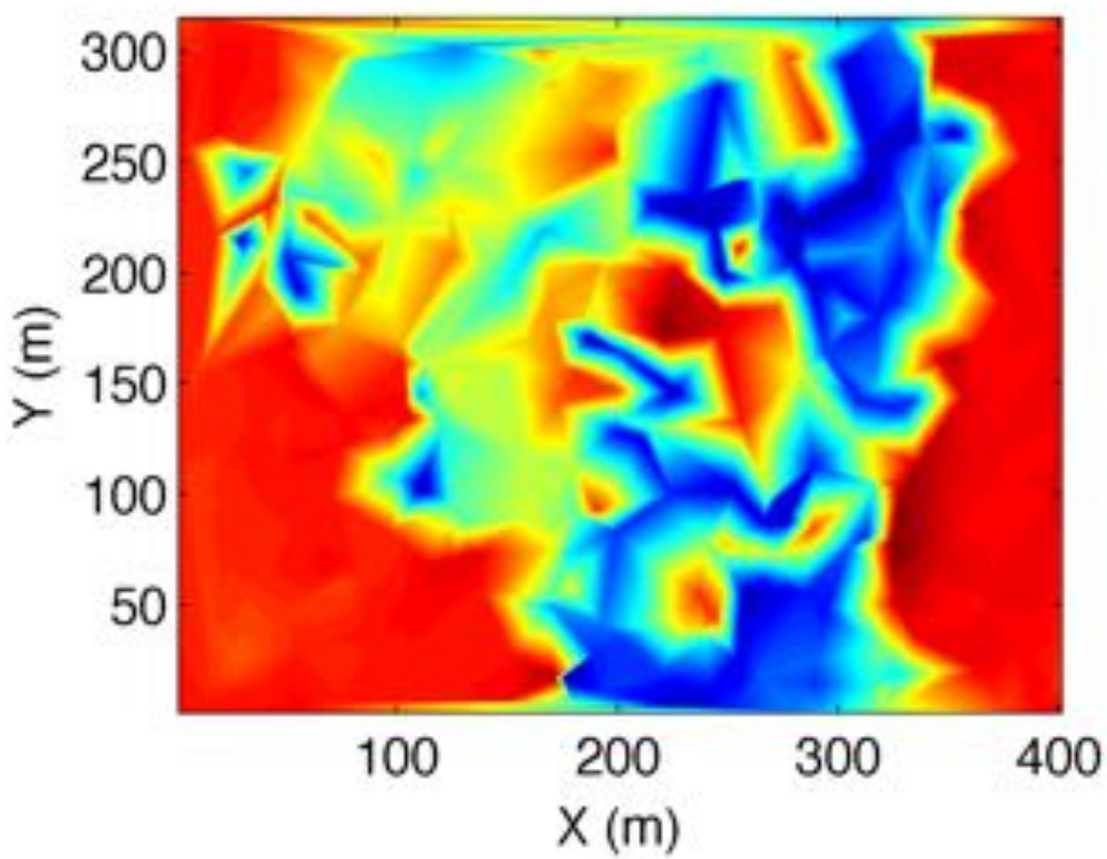


L’échec des mesures ponctuelles

400 points de mesure
$$$$$

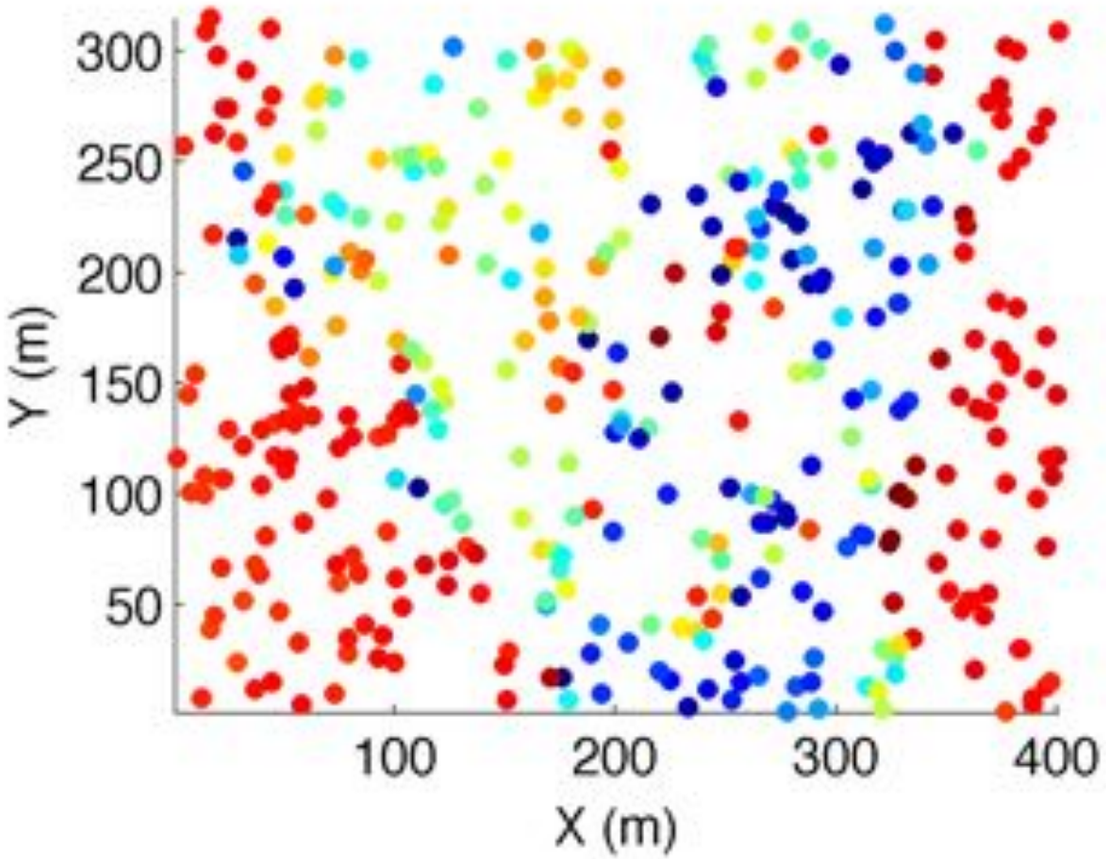


Interpolation linéaire

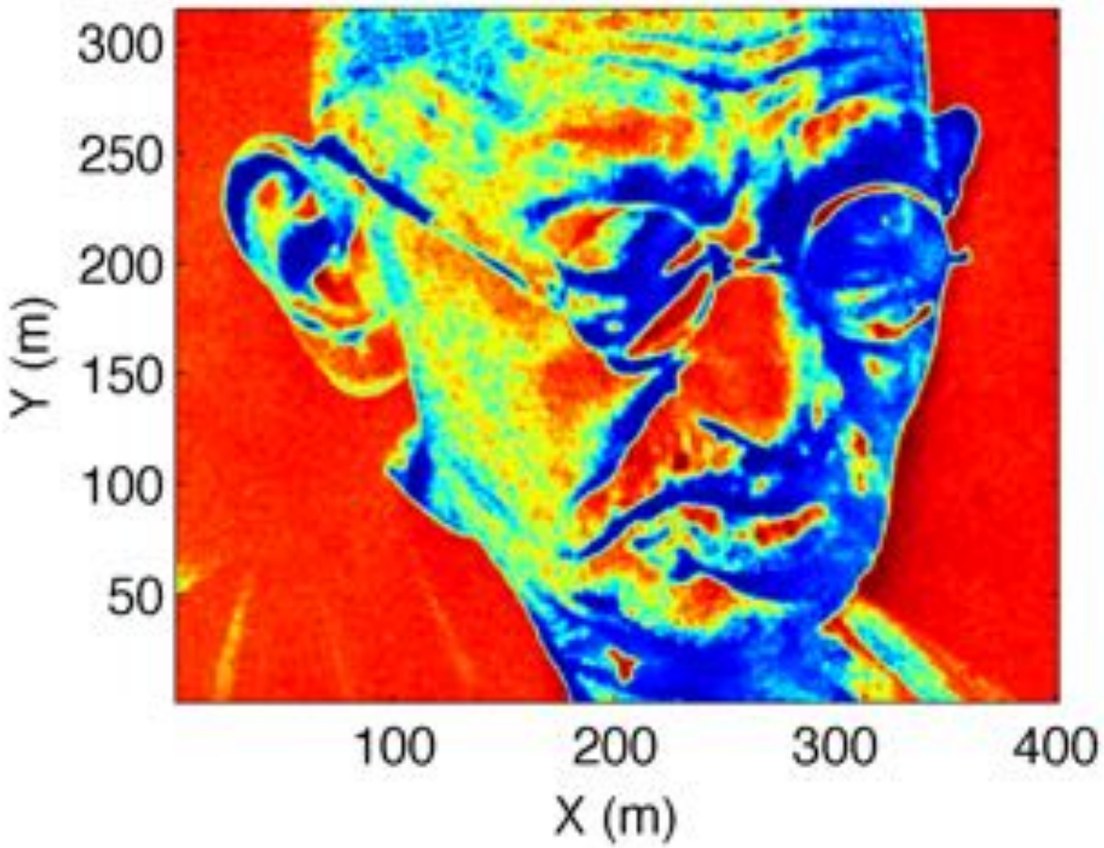


L’échec des mesures ponctuelles

400 points de mesure
$$$$$

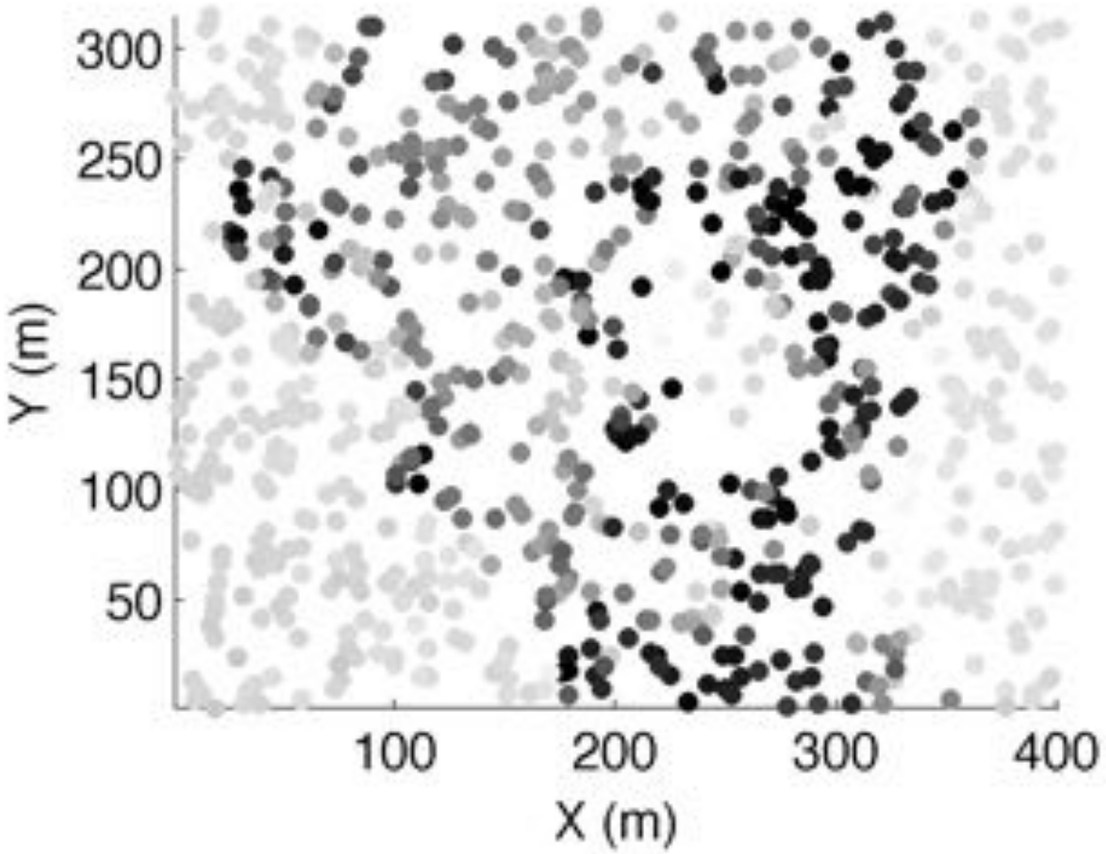


Interpolation linéaire

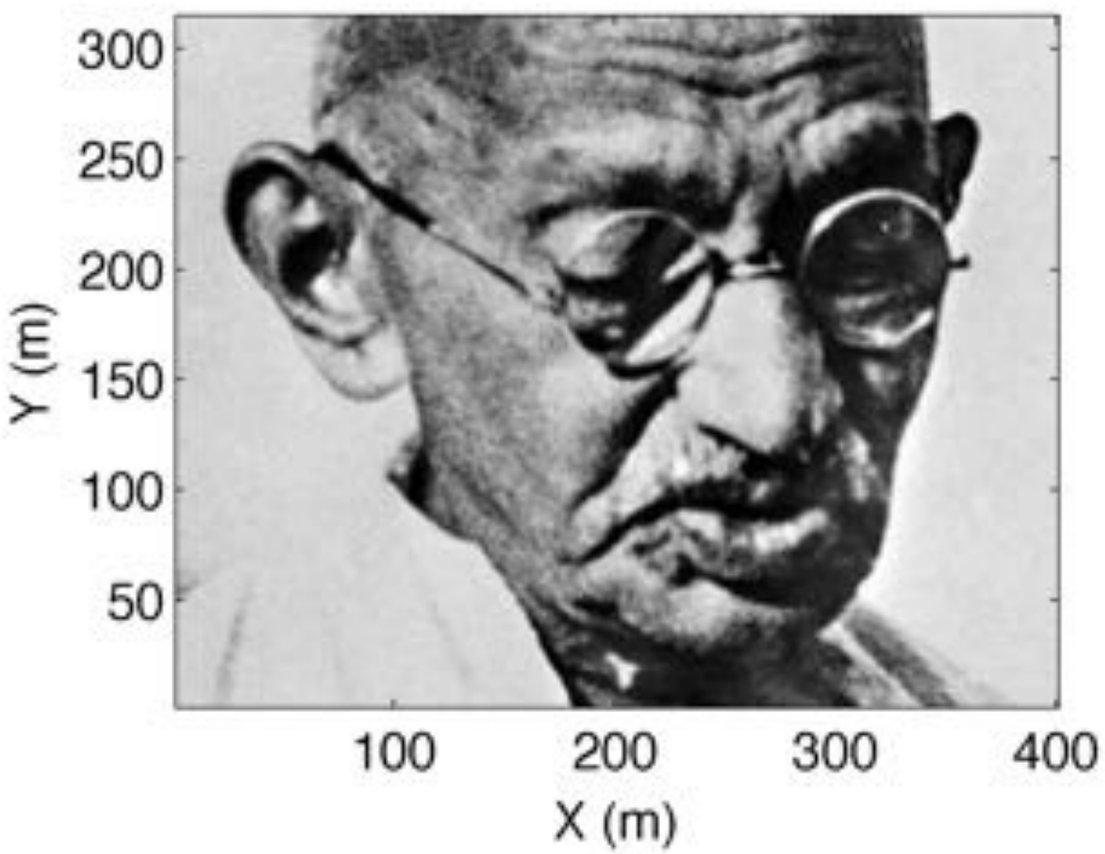


L’échec des mesures ponctuelles

400 points de mesure
$$$$$

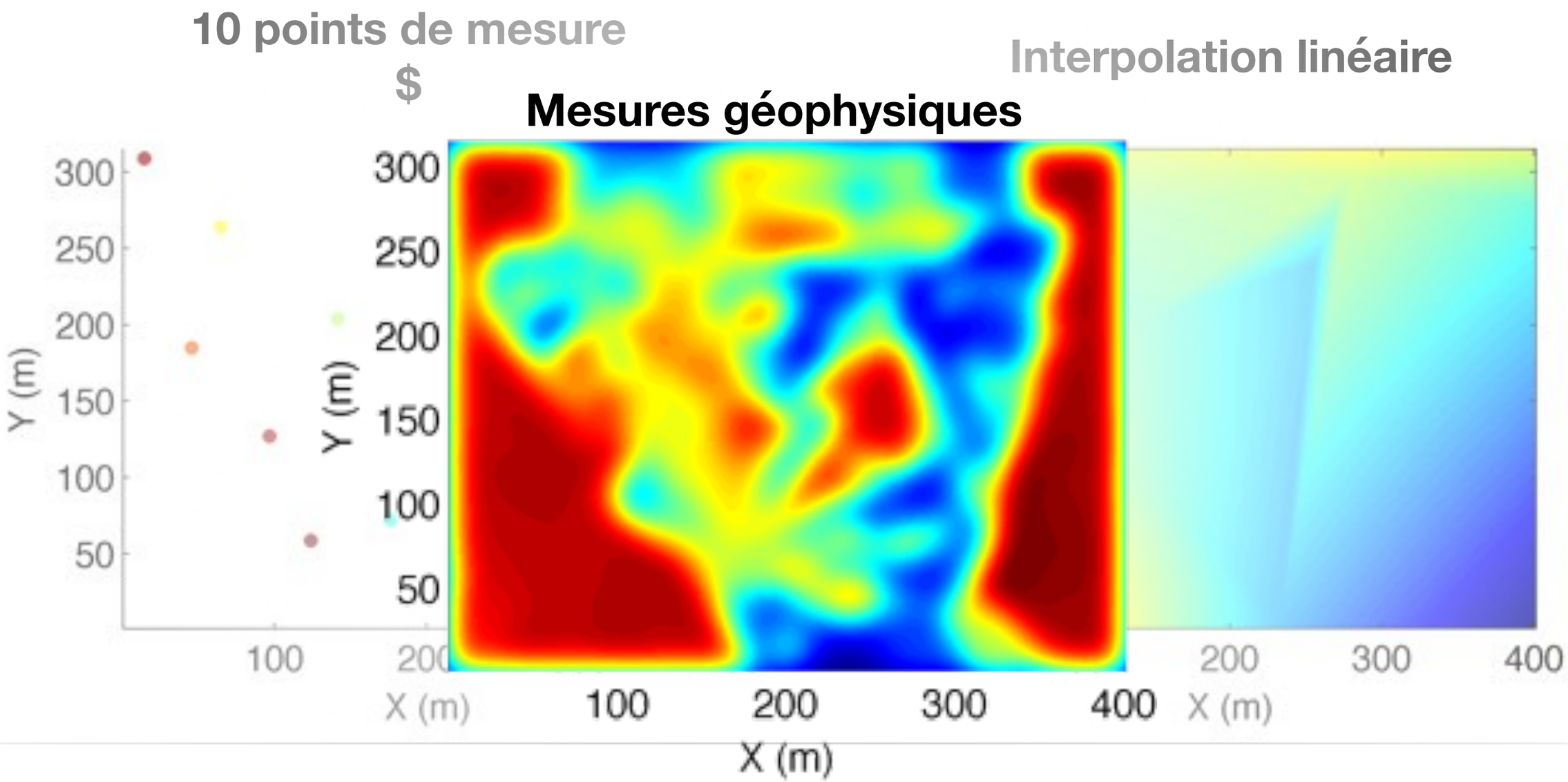


Interpolation linéaire



La caractérisation par échantillonnage directe requière un nombre de points trop élevé pour espérer caractériser des sites complexes!

L’échec des mesures ponctuelles



La géophysique apporte un image floue de moindre précision, qui permet cependant de mieux discerner la structure globale.

Mesures indirectes

Propriété géophysique: Une propriété physique mesurée ou estimée par une méthode géophysique. La plupart du temps, c'est une mesure que l'on dit indirecte, c'est-à-dire qu'elle n'est pas une propriété géologique en soi.
Ex: La densité telle que mesurée en gravimétrie

Les liens entre les propriétés géophysiques et les propriétés géologiques se nomment les **relations pétrophysiques**.

Les mesures géophysiques comportent des avantages et inconvénients:

Avantages
- Continuité spatiale des mesures
- Ratio volume investigué/coût élevé
- Mesures non-destructives

Inconvénients
- Résolution limitée
- Intégration quantitative difficile
- Mesures parfois ambiguës
- Demande un personnel spécialisé
- Échec fréquent des levés

1. Révision de Géophysique appliquée 1

Révision

Voici quelques questions pour vous remémorer le cours de géophysique appliquée 1

1. Quelles sont les deux méthodes vues dans le cours ?

2. Quelles étaient les lois physiques sur lesquelles se basaient ces méthodes ?

3. Quelles étaient les propriétés physiques mesurées ?

4. Décrivez sommairement l’acquisition des données dans les deux cas.

5. Décrivez les corrections nécessaires à apporter aux données.

6. Comment est effectuée l’interprétation des données ?

Les lois physiques

Gravimétrie

- Deux masses sont attirées par une force d'attraction

$$\mathbf{F} = -\frac{Gm_1m_2}{r^2}\hat{\mathbf{r}}$$

- Qui peut être mesurée par le champ gravitationnel

$$\mathbf{g} = \frac{\mathbf{F}}{m_2} = -\nabla U$$

Magnétisme

- Deux pôles de même signe produisent une force répulsive

$$\mathbf{F} = \frac{p_1p_2}{\mu\, r^2}\hat{\mathbf{r}}$$

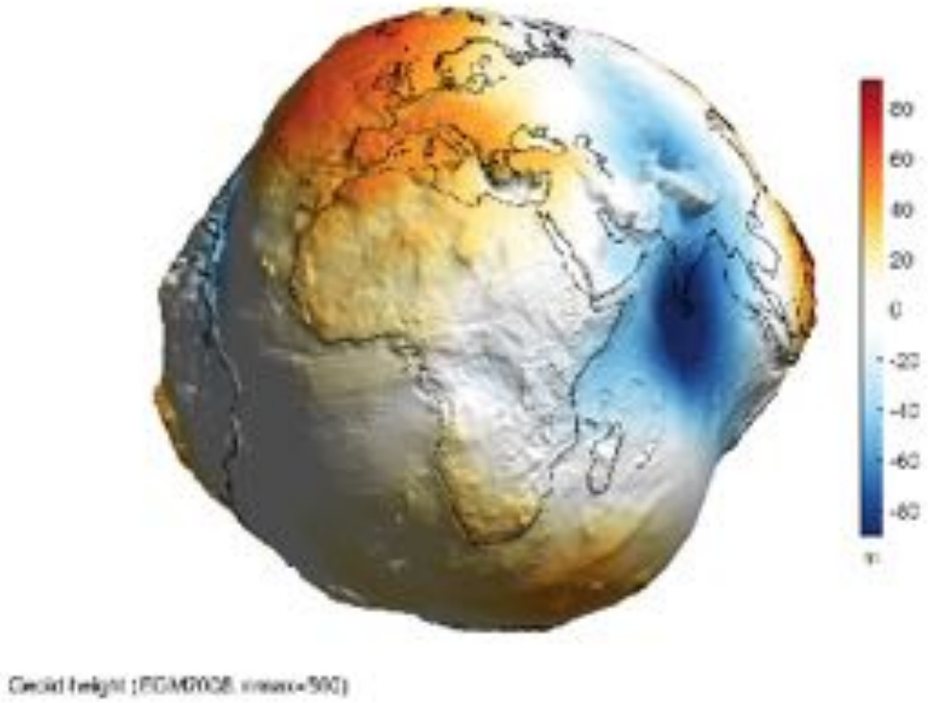
- Qui peut être mesurée par le champ magnétique

$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{F}}{p_1} = -\nabla A$$

Les lois physiques

Gravimétrie

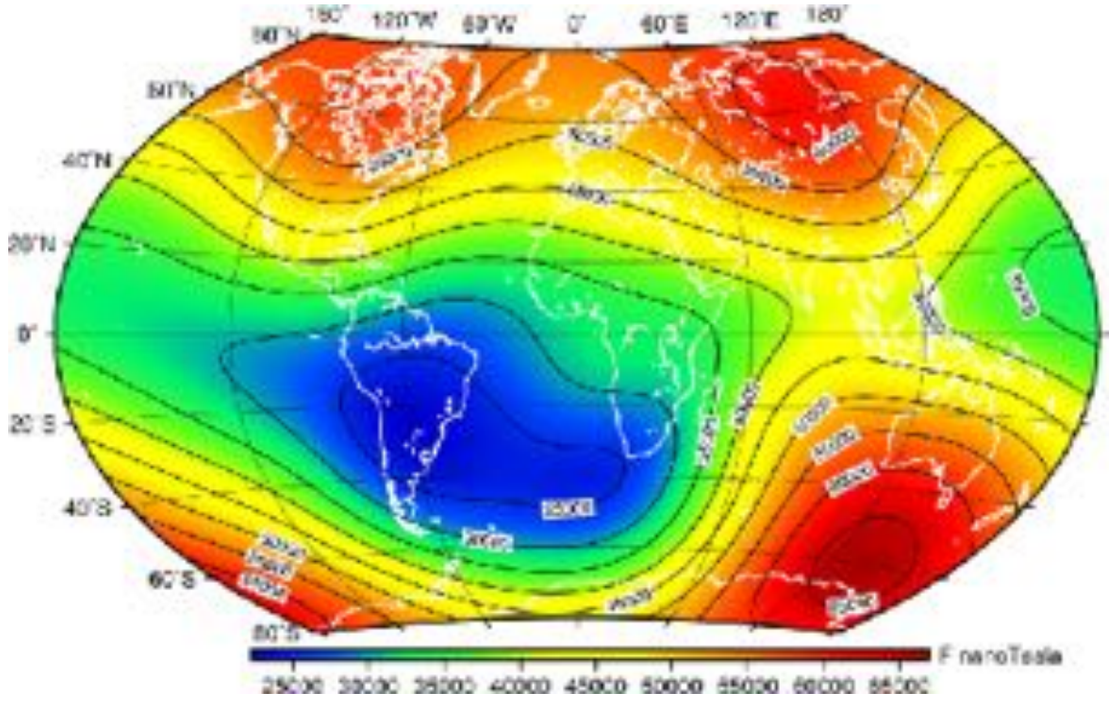
- La gravimétrie se base sur les mesures des variations du champ gravitationnel terrestre



Geoid height (EGM2008 +max+500)

Magnétisme

- Les levés magnétiques se basent sur les mesures des variations du champ magnétique terrestre



Propriétés physiques

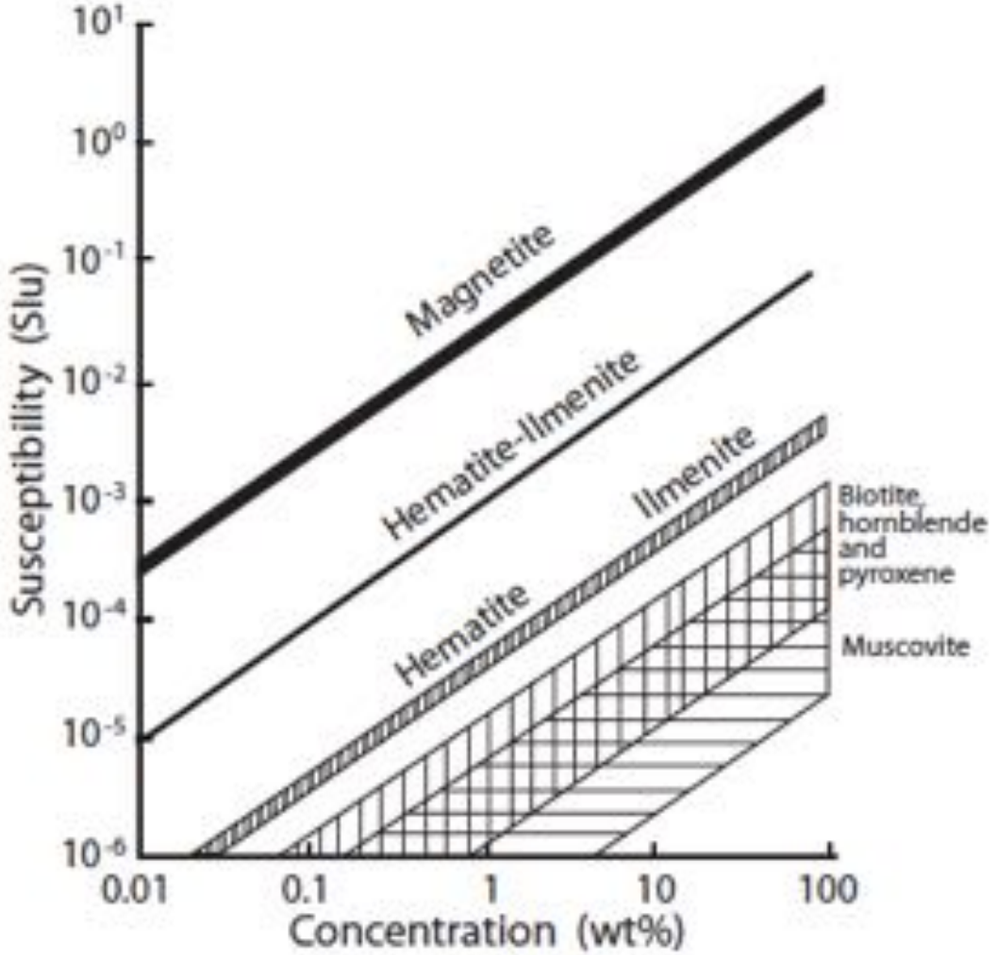
Gravimétrie

- La densité des matériaux terrestres affectent le champ gravimétrique terrestre
- Dans la lithosphère, la densité varie entre 1.7 et 3.0 kg/m^3

	Épaisseur	Densité
Croûte	30	2.2 à 2.9
Manteau supérieur	720	3.4 à 4.4
Manteau inférieur	2 171	4.4 à 5.6
Noyau externe	2 259	9.2 à 12.2
Noyau interne	1 221	12.8 à 13.1

Magnétisme

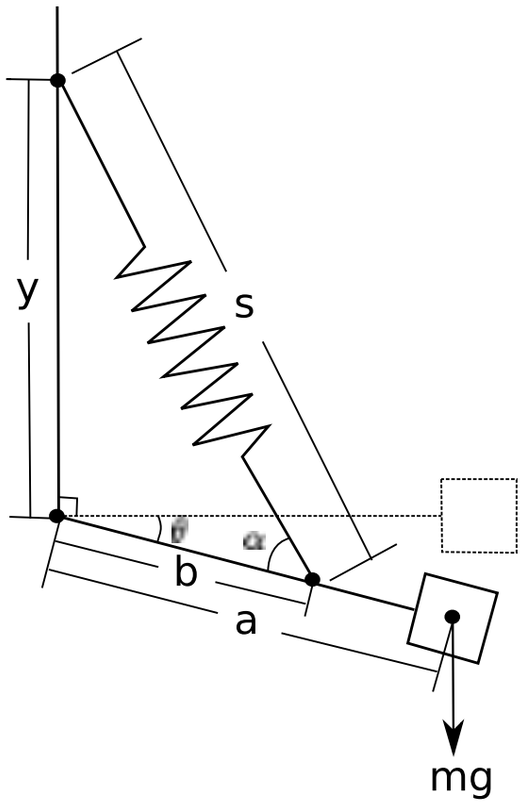
- La susceptibilité magnétique k affecte le champ magnétique terrestre



Acquisition des données

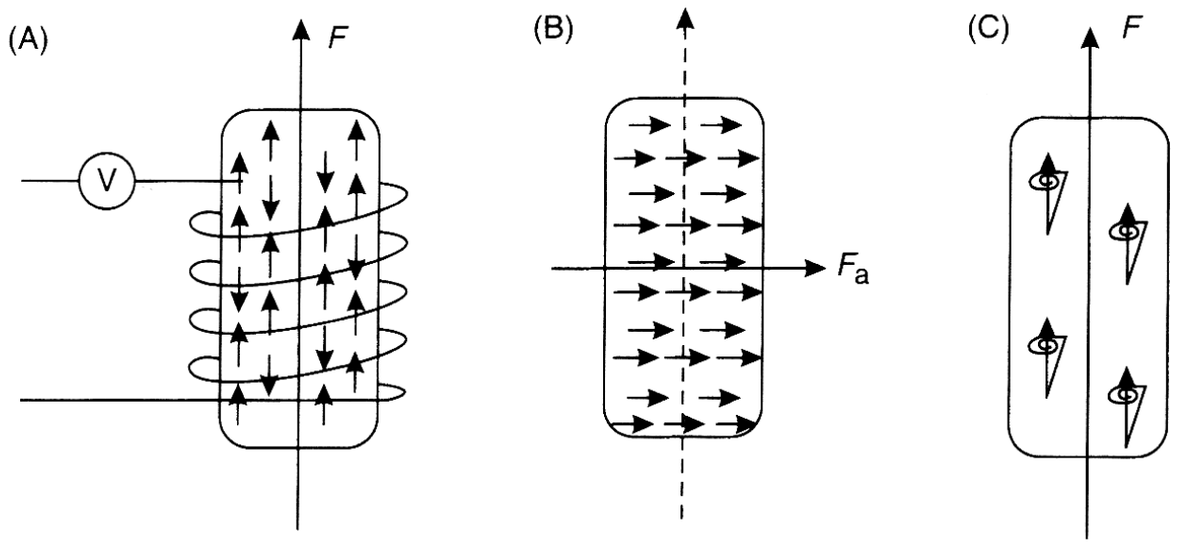
Gravimétrie

- On mesure la composante z grâce à l'allongement d'un ressort
- Sensibilité de quelques microGals



Magnétisme

- On mesure le champ magnétique total en se basant sur des phénomènes quantiques
- Sensibilité de quelques nT



Correction des données

- Les corrections servent à isoler la réponse causée par les hétérogénéités du sous-sol
- L'anomalie de Bouguer est donnée par:

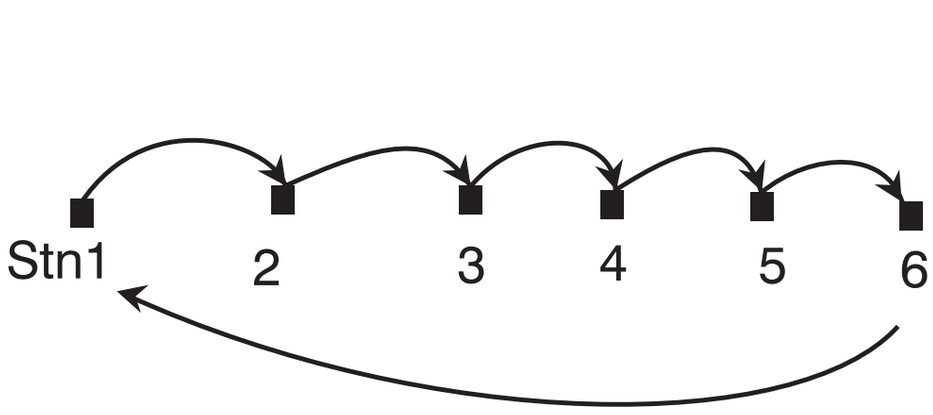
$$\Delta g_B = \Delta g_{\text{observée}} \pm \text{les } 5 \text{ corrections}$$

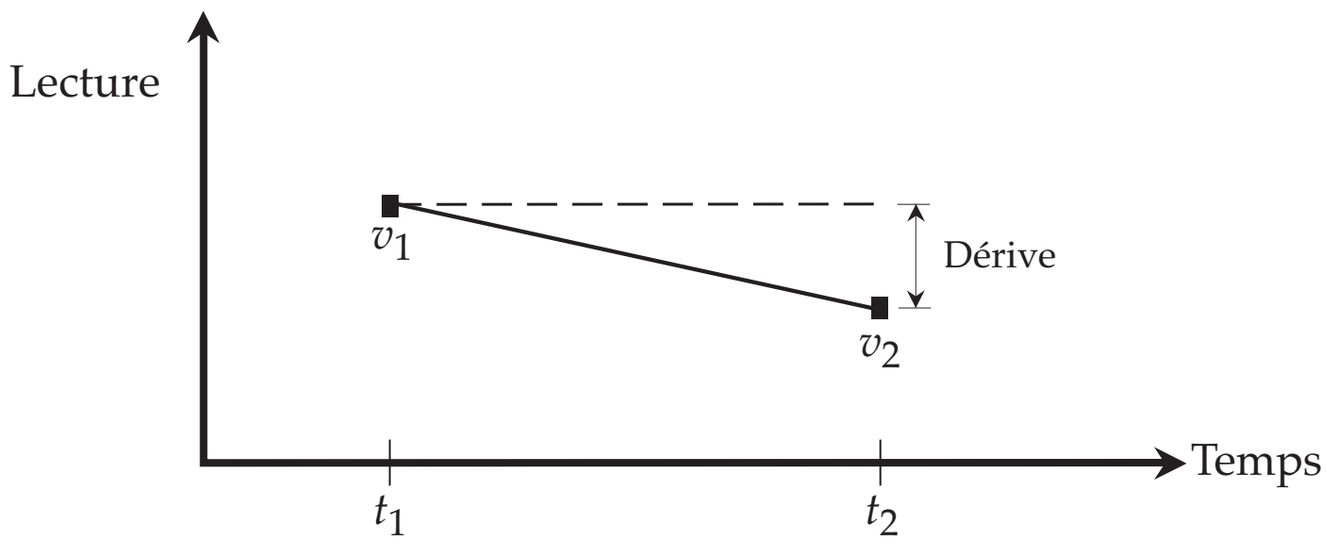
Où les 5 corrections sont: les correction de dérive, de latitude, d'altitude, de plateau et de terrain.

- En magnétométrie, seule la correction de dérive est appliquée.

Correction de dérive

- Correction réalisée en faisant les mesures selon un cheminement en boucle



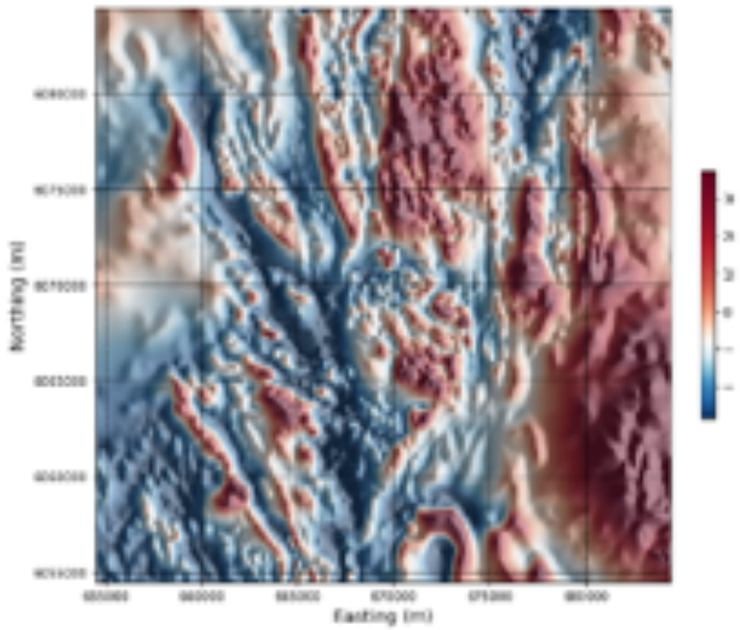


- Toute mesure v prise entre les temps t_1 et t_2 est corrigée selon la formule suivante:

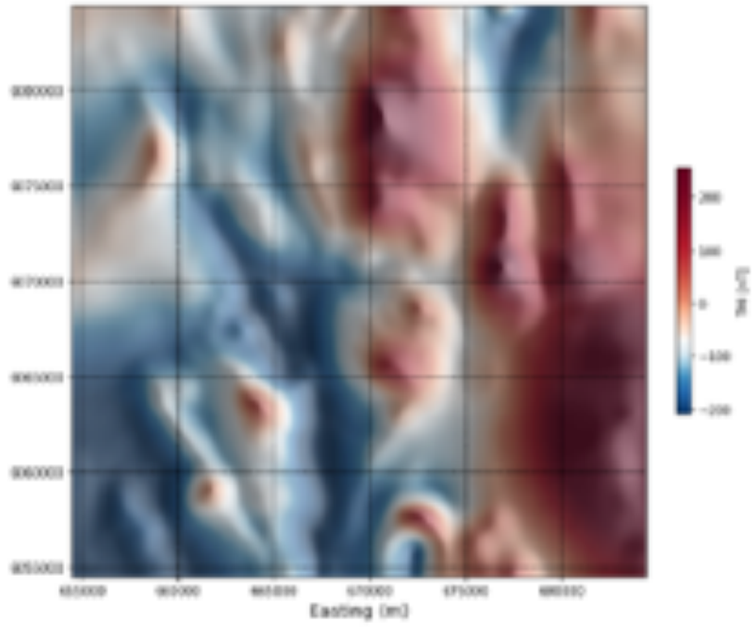
$$v_{\mathrm{cor}}(t) = v_{\mathrm{lue}}(t) - \Delta'_d(t - t_1).$$

Traitement des données

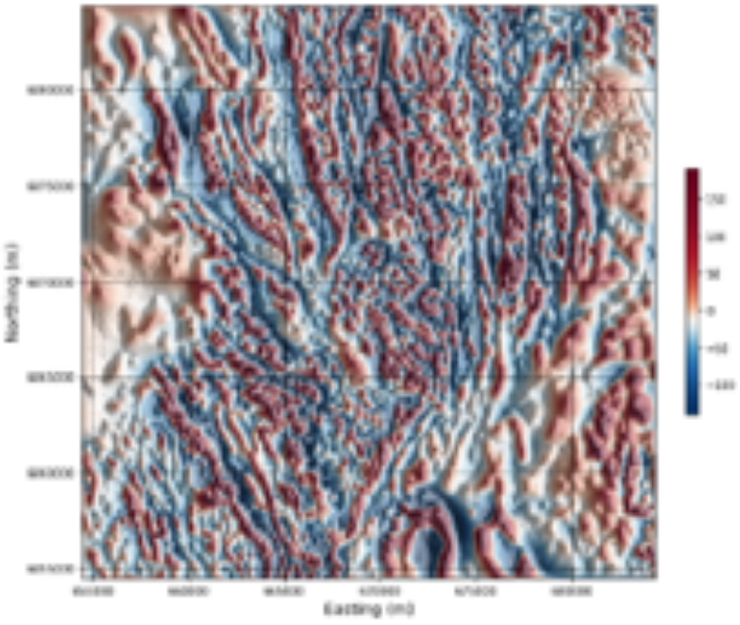
- Afin de rehausser certaines parties du signal, nous appliquons des filtres aux cartes gravimétriques et magnétiques



Carte magnétique originale



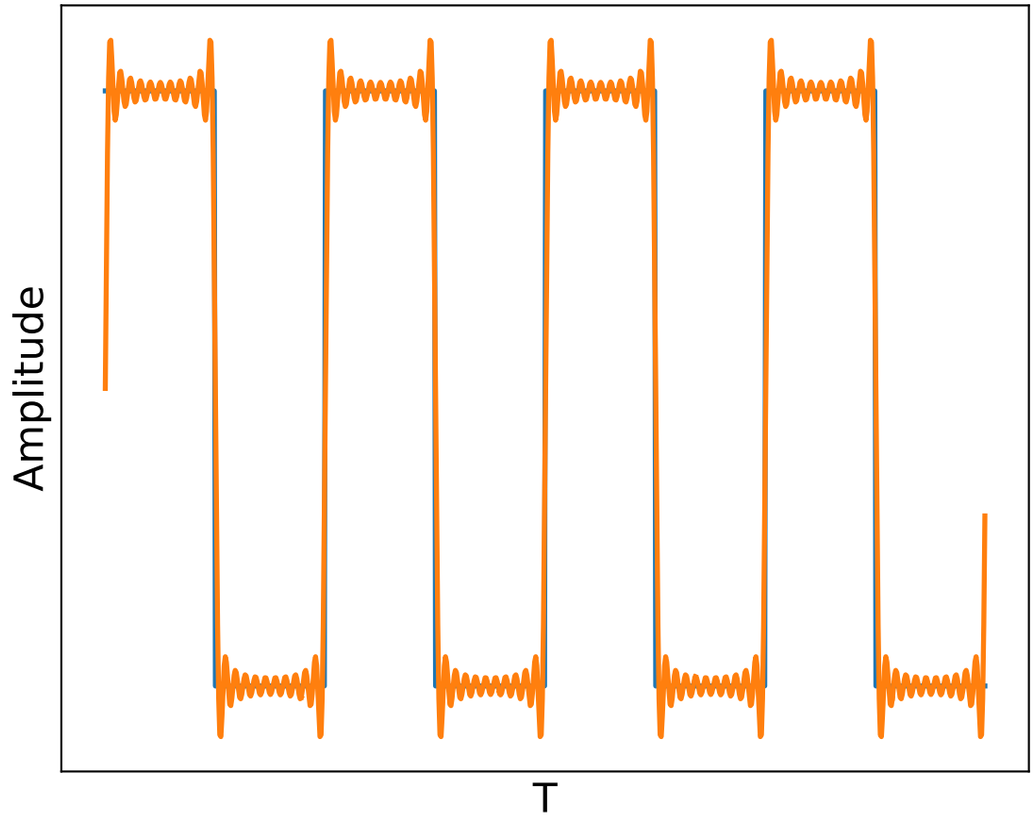
Prolongement vers le haut

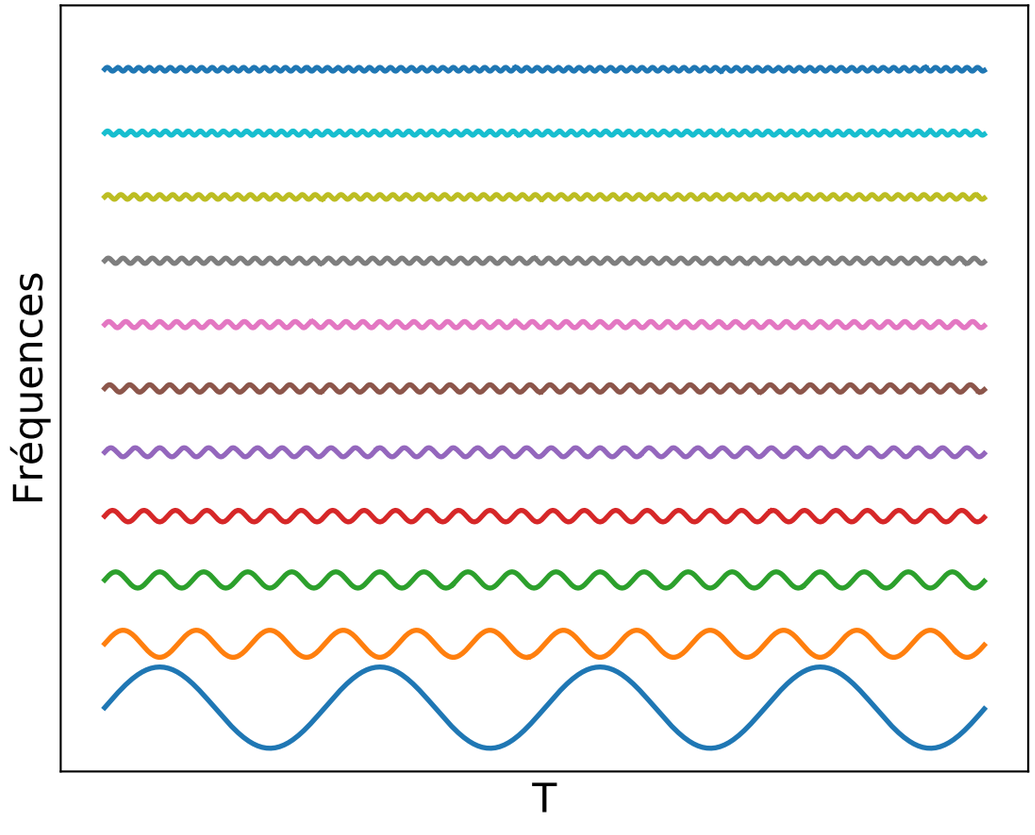


Dérivée verticale

Traitement des données

- Les filtres se basent sur la transformée de Fourier, qui décompose un signal en une somme de sinus et cosinus





Traitement des données

1. Appliquer la transformée de Fourier discrète au signal

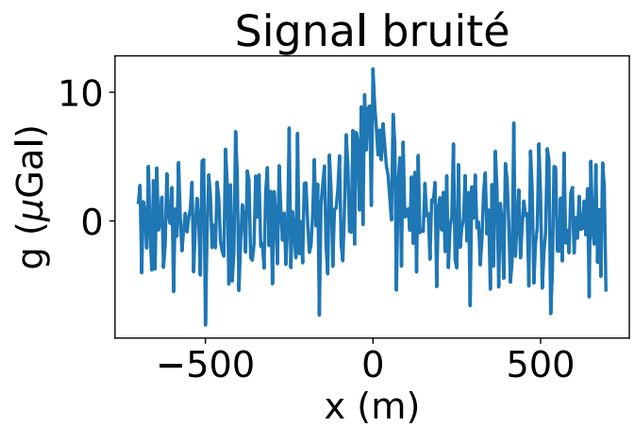
$$S(\omega) = \mathcal{F}[(s(t)]$$

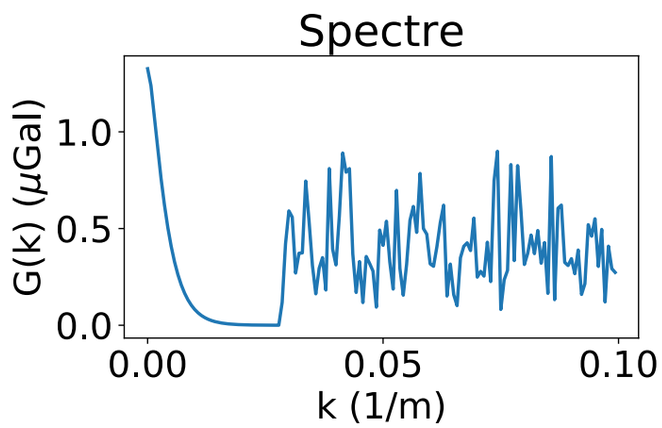
2. Multiplier par la réponse du filtre désiré

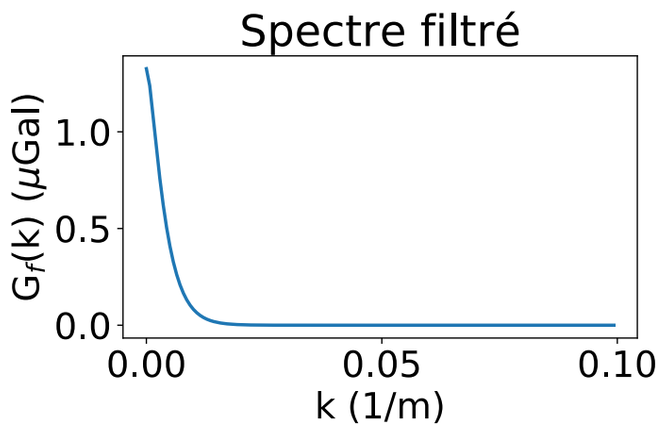
$$S_f(\omega) = S(\omega)H(\omega)$$

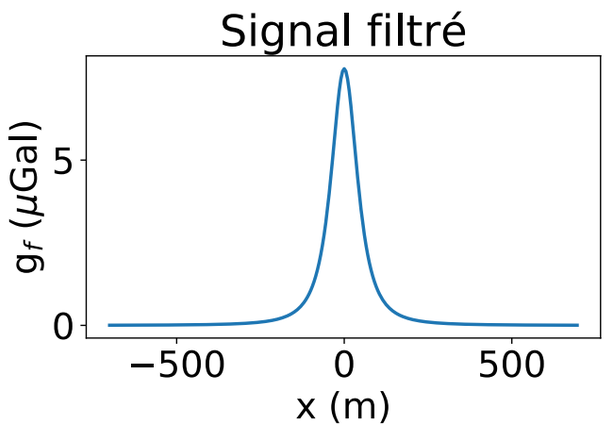
3. Appliquer la transformée inverse

$$s_f(t) = \mathcal{F}^{-1}[(S_f(\omega)]$$



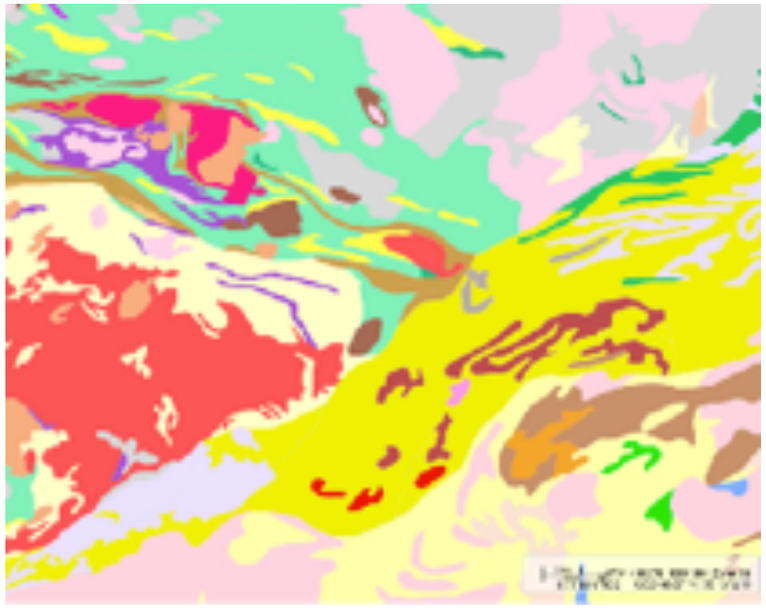




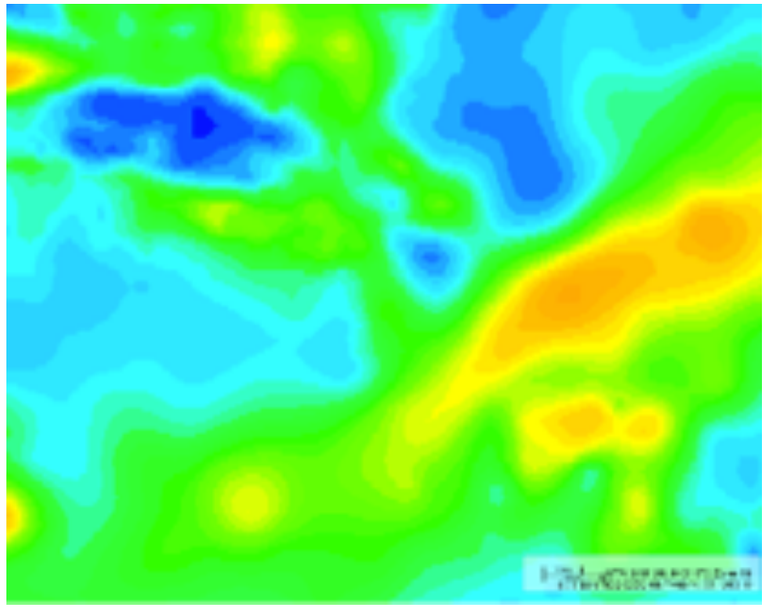


Interprétation des données

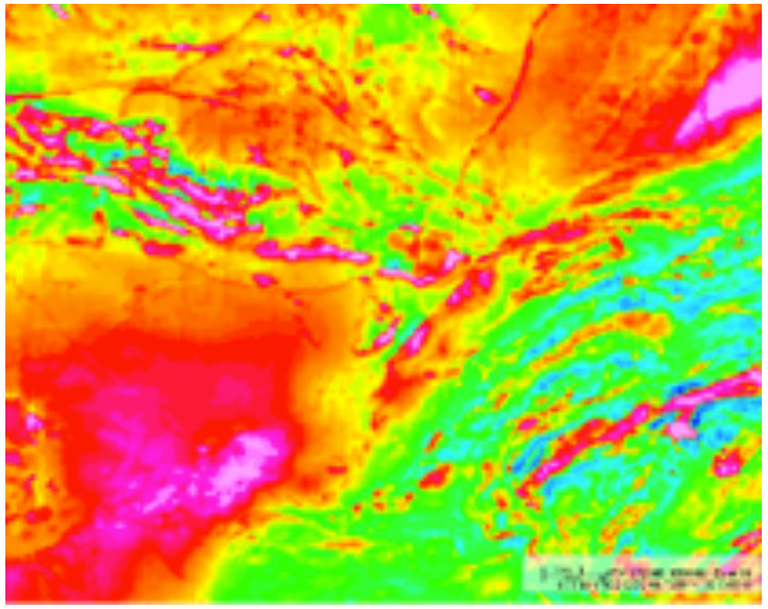
- Les données gravimétriques et magnétiques, couplées aux relevés de terrain géologique, permettent de produire des cartes géologiques.



Carte géologique de l'Abitibi



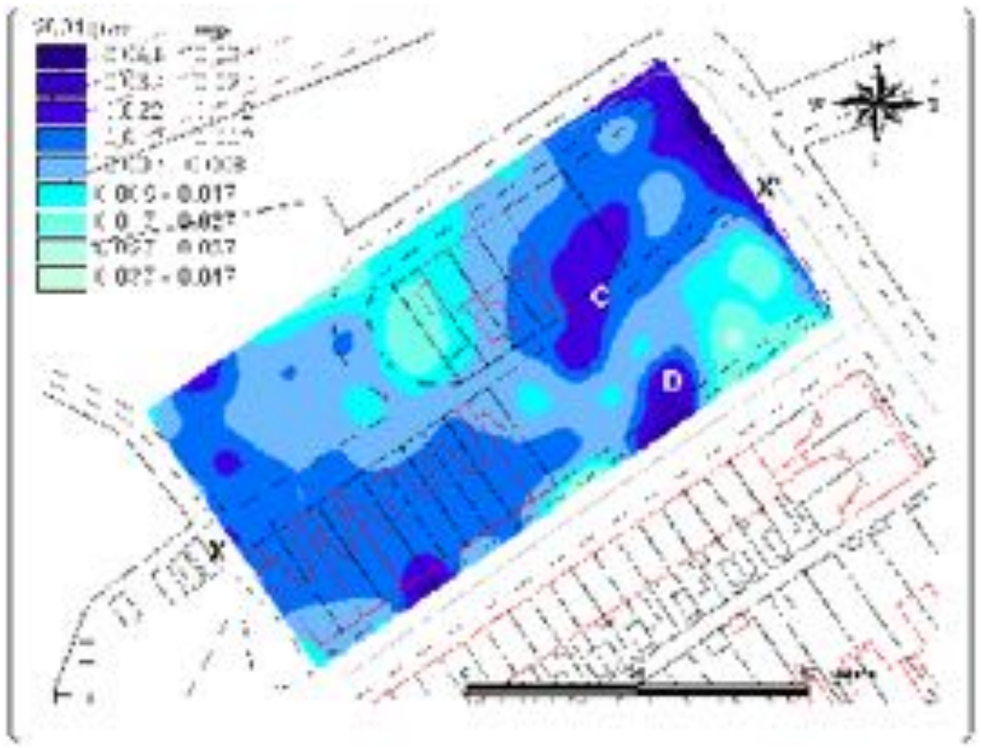
Anomalie de Bouguer

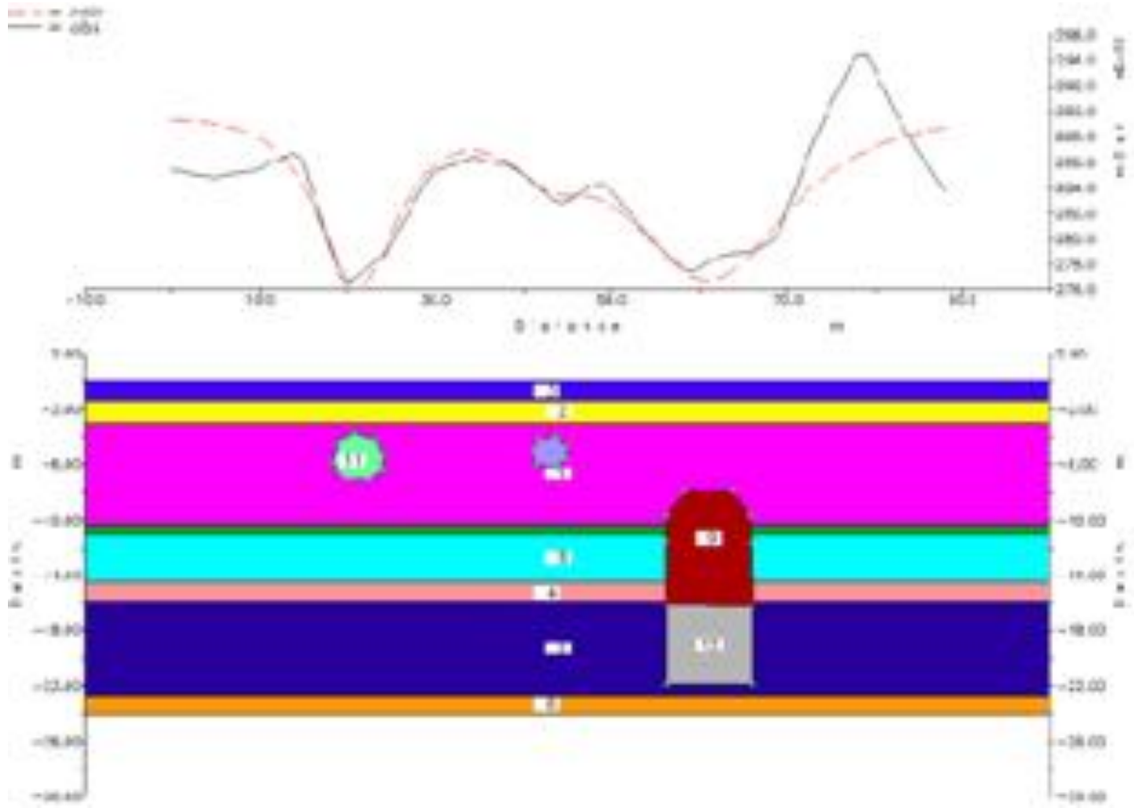


Champ magnétique résiduel

Interprétation des données: Modélisation

- Une analyse plus poussée peut être effectuée en testant différents scénarios par modélisation directe.
- La profondeur et l'extension verticale restent difficile à extraire.





Forces et faiblesses

Forces

- Mesures passives du champ naturel
- Applicable à grande échelle
- Changements de densité et de susceptibilité bien corrélés à la géologie

Faiblesses

- Difficulté à déterminer la profondeur et extension verticale des structures
- Plusieurs types de roches ne peuvent être différenciés par leur densité et susceptibilité
- Mesures fortement perturbées en milieu urbanisé
- Mesures gravimétriques coûteuses et demande une expertise pointue.

2. Propriétés géophysiques

Densité

- La densité est le rapport de la masse et du volume:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

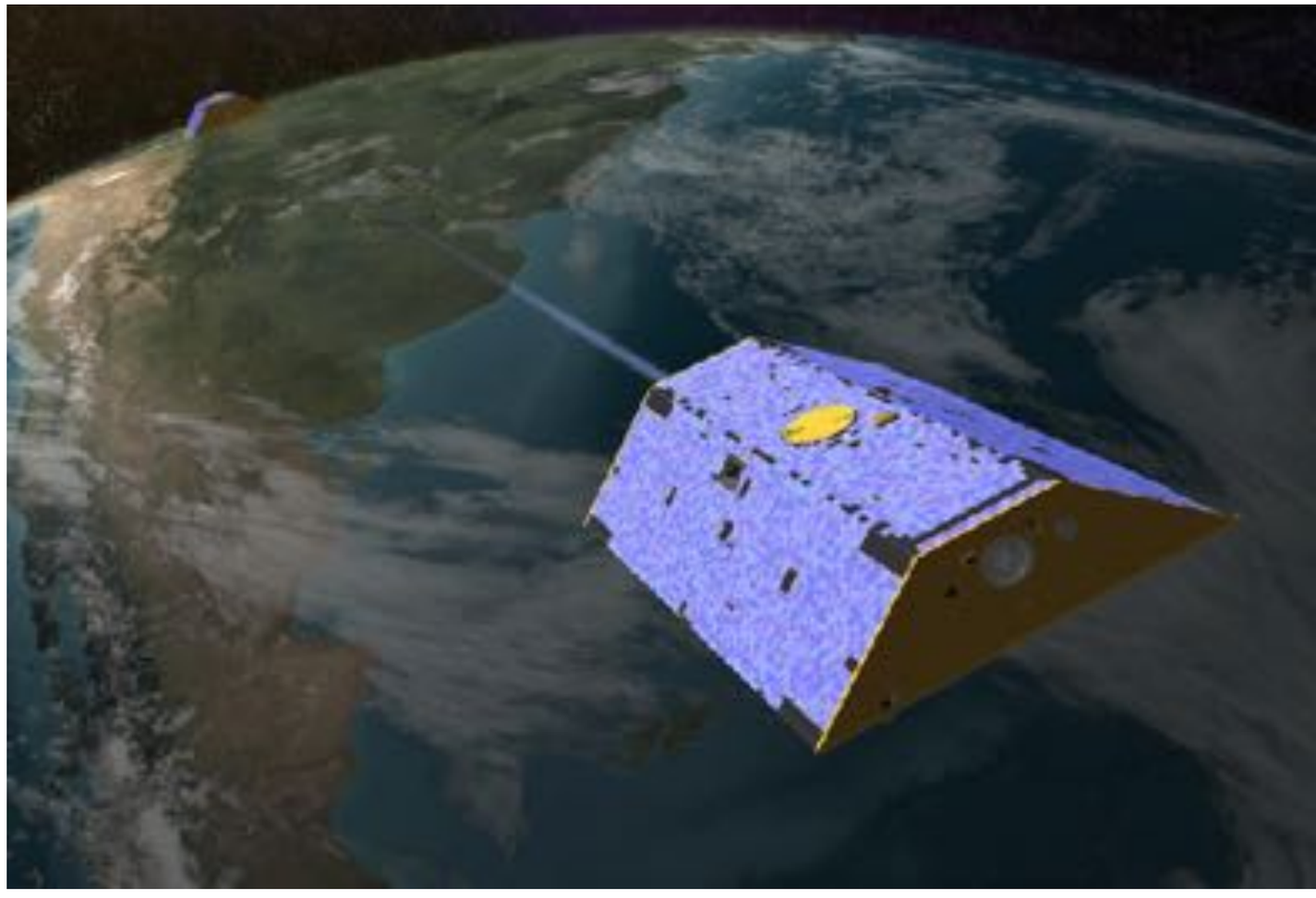
- Dans le cas d'un milieu poreux saturé:

$$\rho_m = (1 - \phi)\rho_s + \phi\rho_f$$

ϕ : Porosité
ρ_s : Densité du solide
ρ_f : Densité du fluide

- L'unité est le g/cm3 ou kg/m3

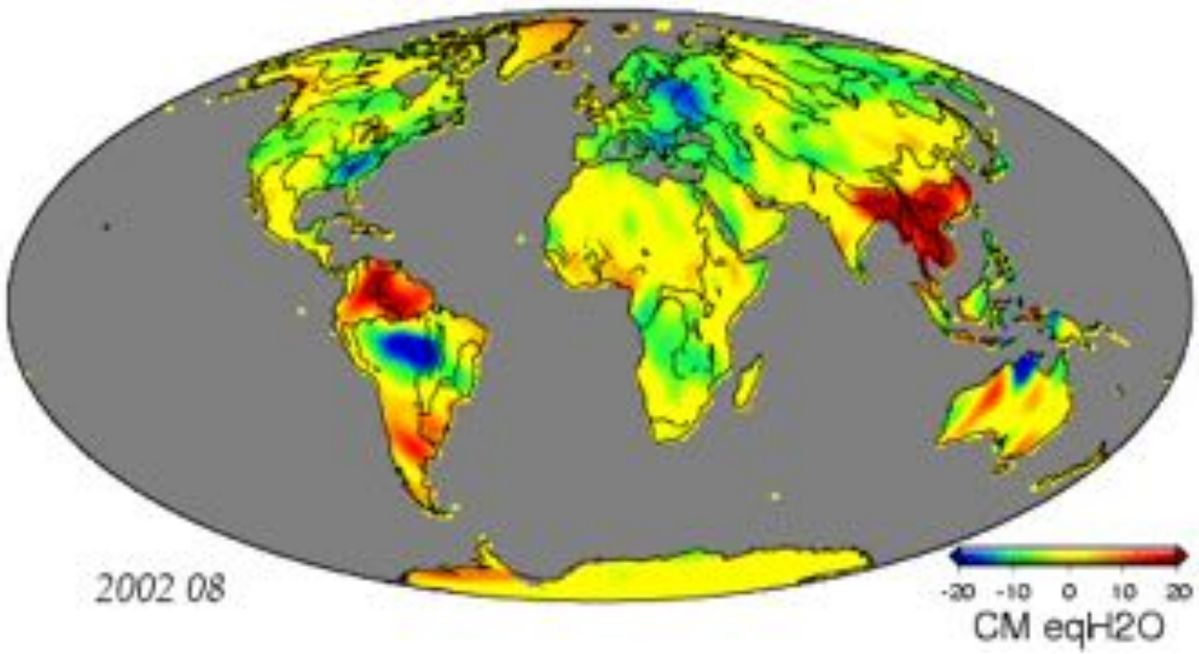
https://www.nasa.gov/feature/jpl/grace-mission-15-years-of-watching-water-on-earth



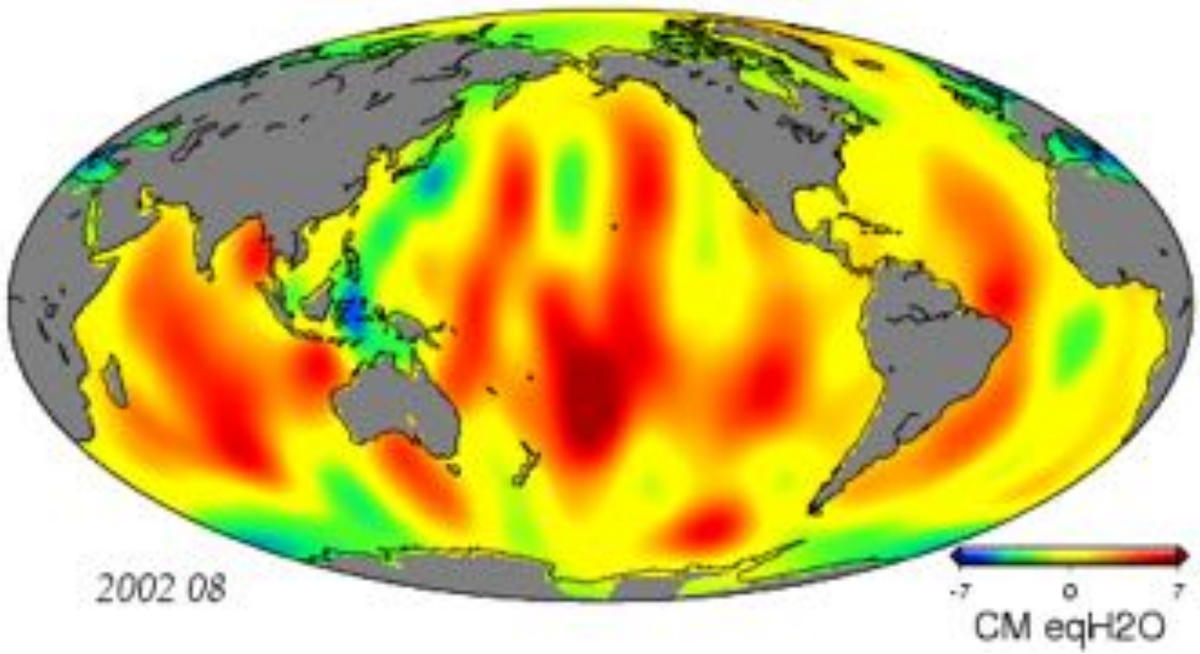
Satellites GRACE

Densité: Grace

La mission Grace a permis des avancées de connaissances fondamentales: déplétion des aquifères, études des courants marins, taux de fonte des glaces en arctique et antarctique et bien d'autres !



variations terrestres

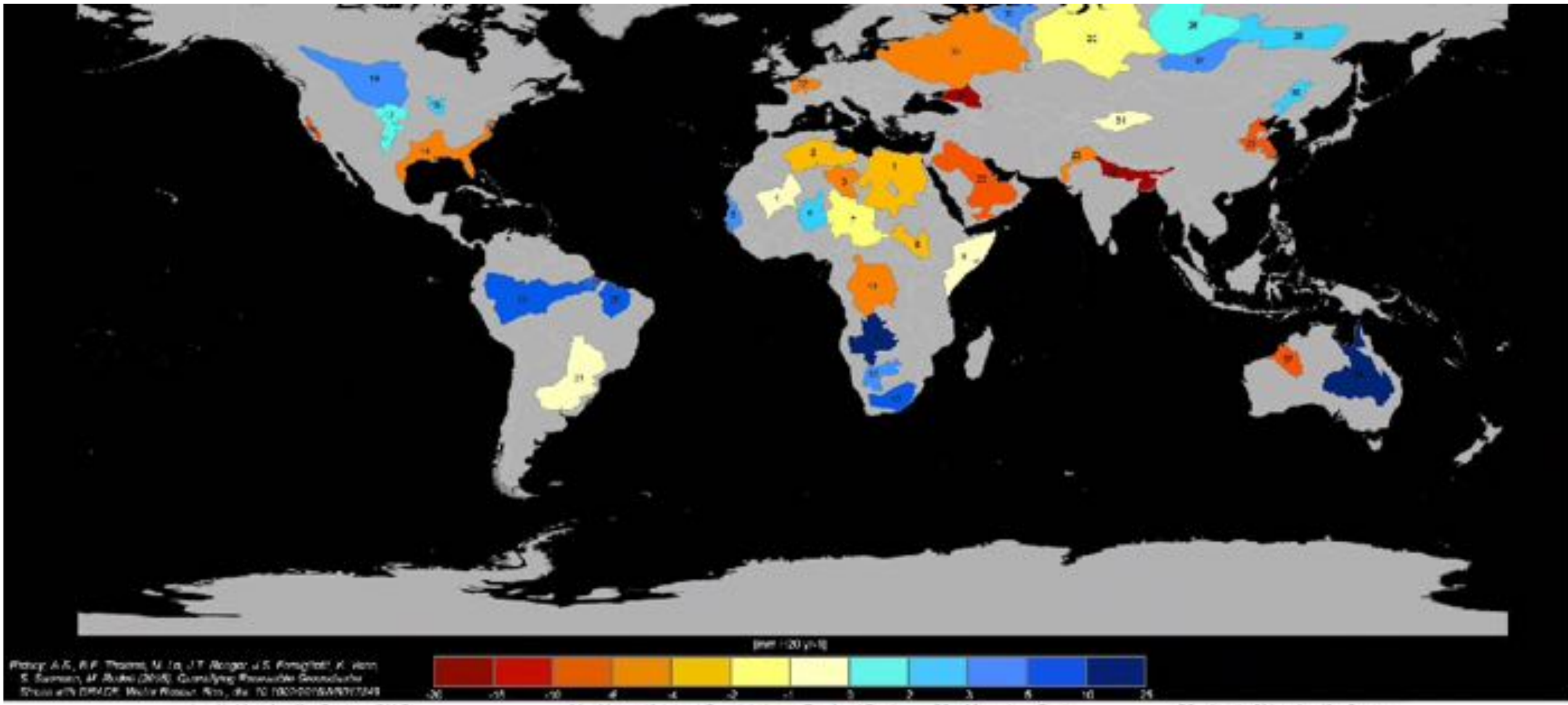


variations océaniques

ftp://podaac.jpl.nasa.gov/pub/tellus/monthly_mass_grids/chambers-destripe/dpc200711/browse/anim/csr300lnd_RL04_500x260.gif

Densité: Surveillance des aquifères

https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=4626



1 Nubian Aquifer System (NAS)
2 Northwestern Sahara Aquifer System (NWSAS)
3 Murzuk-Djado Basin
4 Taoudeni-Tanezrouft Basin
5 Senegalo-Mauritanian Basin
6 Iullemeden-Irhazer Aquifer System
7 Lake Chad Basin
8 Sudd Basin (Umm Ruwaba Aquifer)
9 Ogaden-Juba Basin
10 Congo Basin
11 Upper Kalahari-Cuvelai-Upper Zambezi Basin
12 Lower Kalahari-Stampriet Basin
13 Karoo Basin
14 Northern Great Plains Aquifer
15 Cambro-Ordovician Aquifer System
16 Californian Central Valley Aquifer System
17 Ogallala Aquifer (High Plains)
18 Atlantic and Gulf Coastal Plains Aquifer
19 Amazon Basin
20 Maranhao Basin
21 Guarani Aquifer System
22 Arabian Aquifer System
23 Indus Basin
24 Ganges-Brahmaputra Basin
25 West Siberian Basin
26 Tunguss Basin
27 Angara-Lena Basin
28 Yakut Basin
29 North China Aquifer System
30 Song-Liao Basin
31 Tarim Basin
32 Paris Basin
33 Russian Platform Basins
34 North Caucasus Basin
35 Pechora Basin
36 Great Artesian Basin
37 Canning Basin

Densité: Facteurs

- La composition des roches influence grandement la densité. Pour les roches ignées, la quantité de silice est un bon indicateur:

Type de roche ignée	% Silice (SiO2)	Densité
Felsique	65% <	faible
Intermédiaire	55% - 65%	Modérée
Mafique	45% - 55%	Grande
Ultramafique	< 45%	Très grande

- Porosité: Pour les dépôts meubles, c’est le facteur dominant. Le fluide contenu dans les pores (air, eau, huile gaz…) affecte grandement la densité.

- Pression: Sous la pressions, les roches sédimentaires perdent de leur porosité et deviennent plus denses.

https://gpg.geosci.xyz/content/physical_properties/physical_properties_density.html

Densité

Quelques exemples de matériaux et leur densité

Sédiments

Matériau	Densité
Roche sédimentaire	**(g/cm3)**
Argile	1.63 - 2.60
Silt	1.80 - 2.20
Sol végétal	1.20 - 2.40
Sable	1.70 - 2.30
Grès	1.61 - 2.76
Shale	1.77 - 3.30
Calcaire	1.93 - 2.90
Dolomite	2.28 - 2.90
Craie	1.52 - 2.60
Halite	2.10 - 2.60

Métamorphiques

Matériau	Densité
Roche métamorphi	**(g/cm3)**
Ardoise	2.70 - 2.90
Phyllite	2.68 - 2.80
Schiste	2.39 - 2.80
Gneiss	2.59 - 3.00
Granulite	2.52 - 2.73
Amphibolite	2.90 - 3.04
Eclogite	3.20 - 3.54

Minerai

Matériau	Densité
Roches minéralisée	**(g/cm3)**
Bauxite	2.30 - 2.55
Pyrite et Pyrrhotite	4.50 - 5.20
Magnetite	4.90 - 5.20
Hematite	4.90 - 5.30
Cobaltite	5.80 - 6.30
Galène	7.40 - 7.60

Ignées

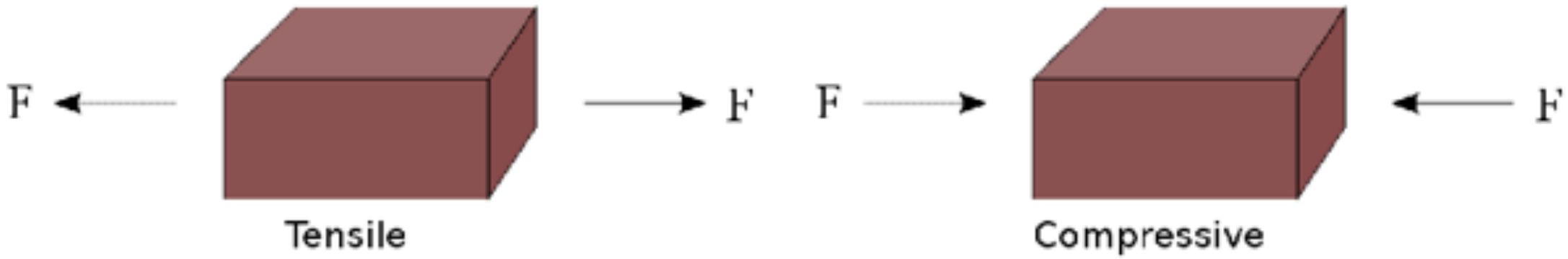
Matériau	Densité
Roche ignée	**(g/cm3)**
Rhyolite	2.35 - 2.70
Granite	2.50 - 2.81
Andesite	2.40 - 2.80
Basalte	2.70 - 3.30
Gabbro	2.70 - 3.50

https://gpg.geosci.xyz/content/physical_properties/tables/index.html

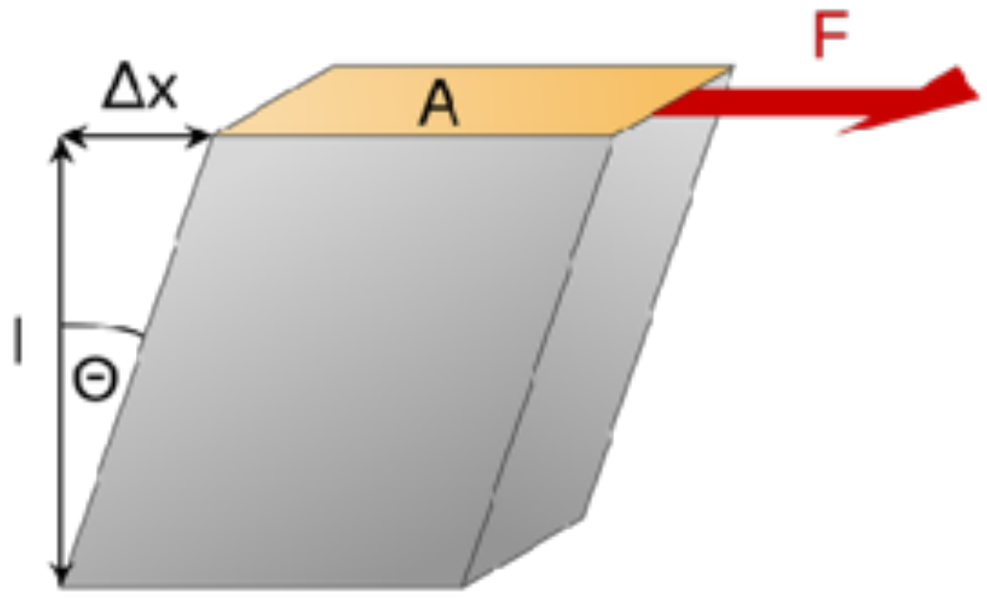
Vitesses sismiques

Un solide supporte plusieurs types de contraintes:

- Compression/contraction



- Cisaillement

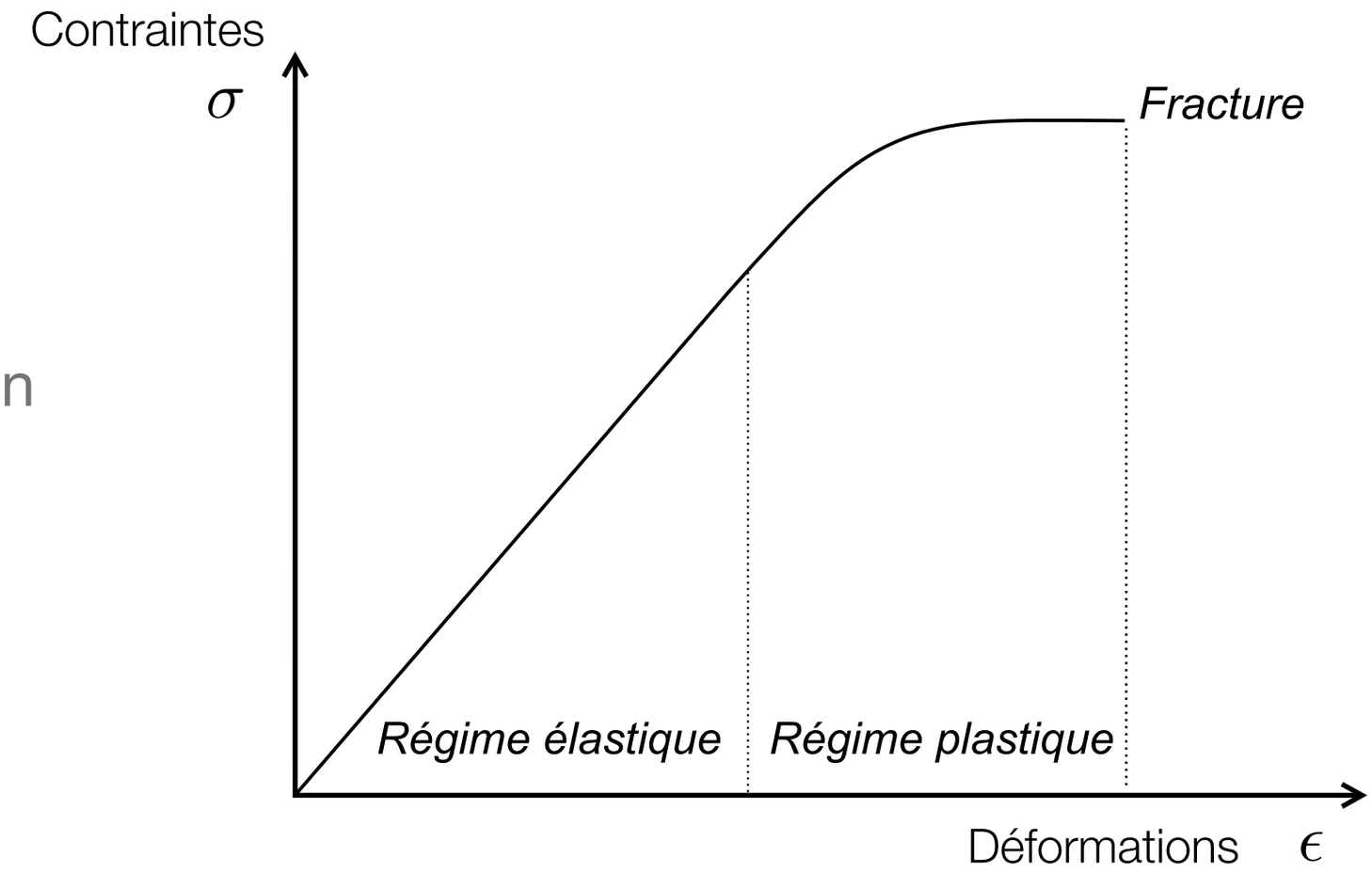


Vitesses sismiques

Les contraintes engendrent des déformations

Pour de petites contraintes, la relation contrainte/déformation est linéaire.

On peut alors assimiler le sol à un système masse-ressort

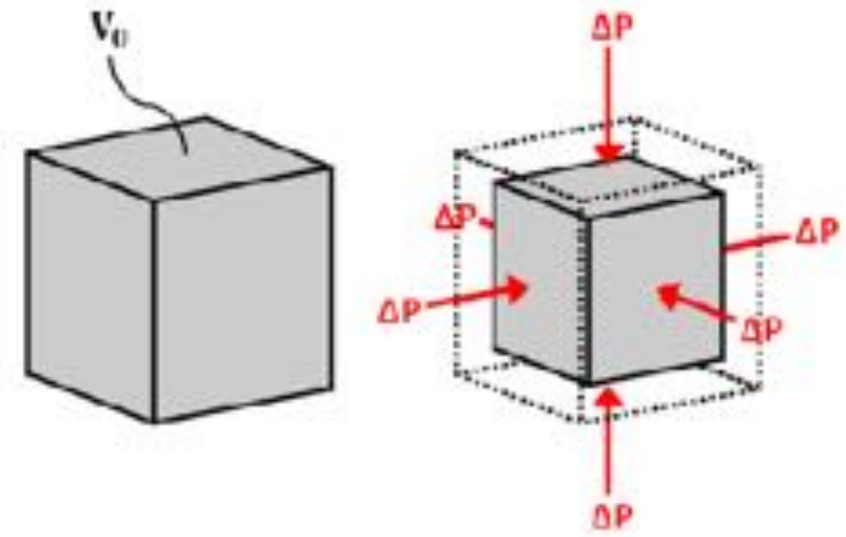


Vitesses sismiques

Les constantes du ressort sont les différents modules élastiques.

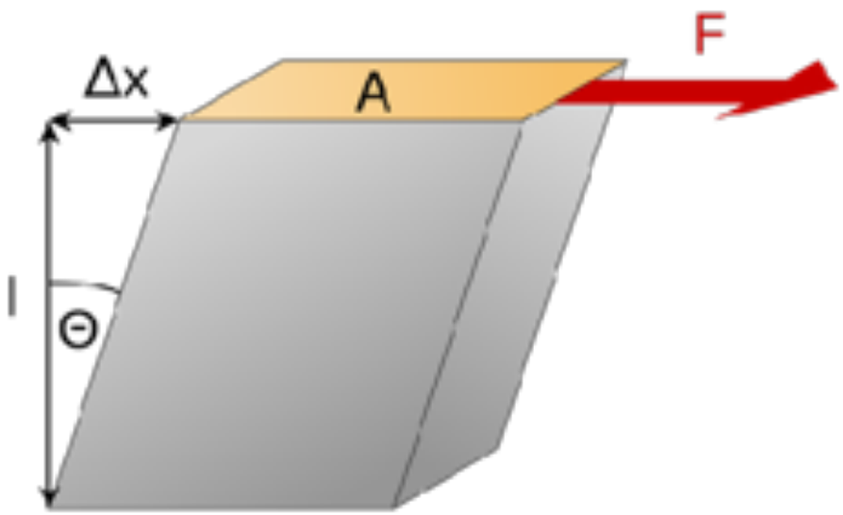
Module d'incompressibilité:

$$K = -V_0 \frac{\Delta P}{\Delta V}$$



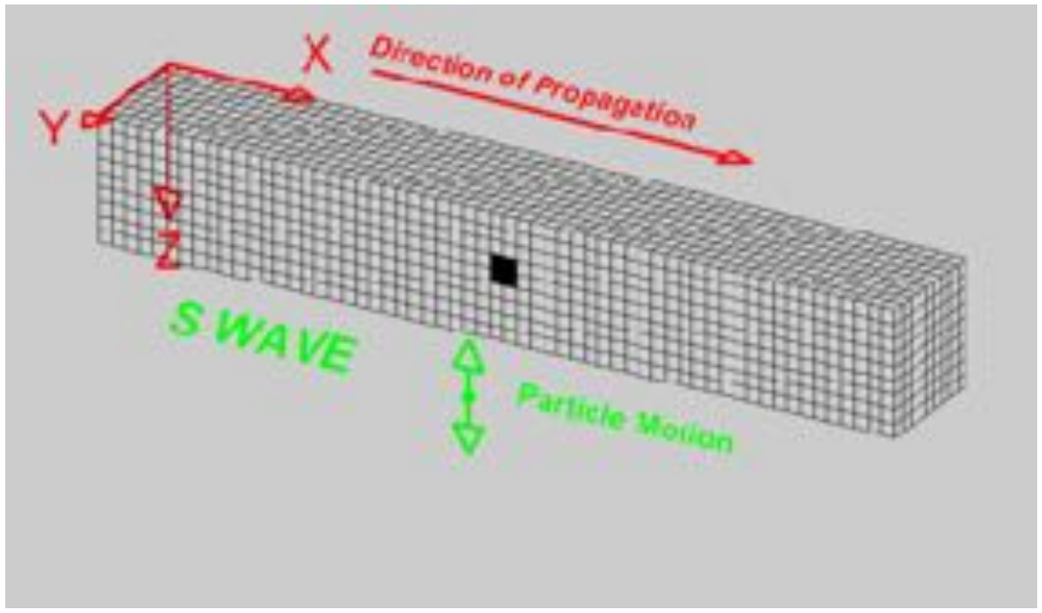
Module de cisaillement:

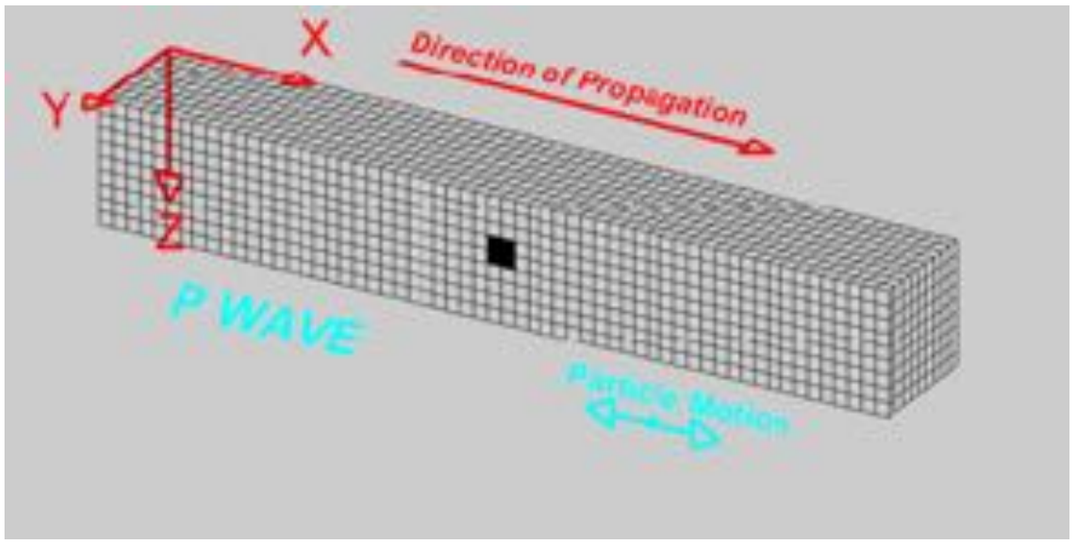
$$\mu = \frac{F/A}{\Delta x/l}$$

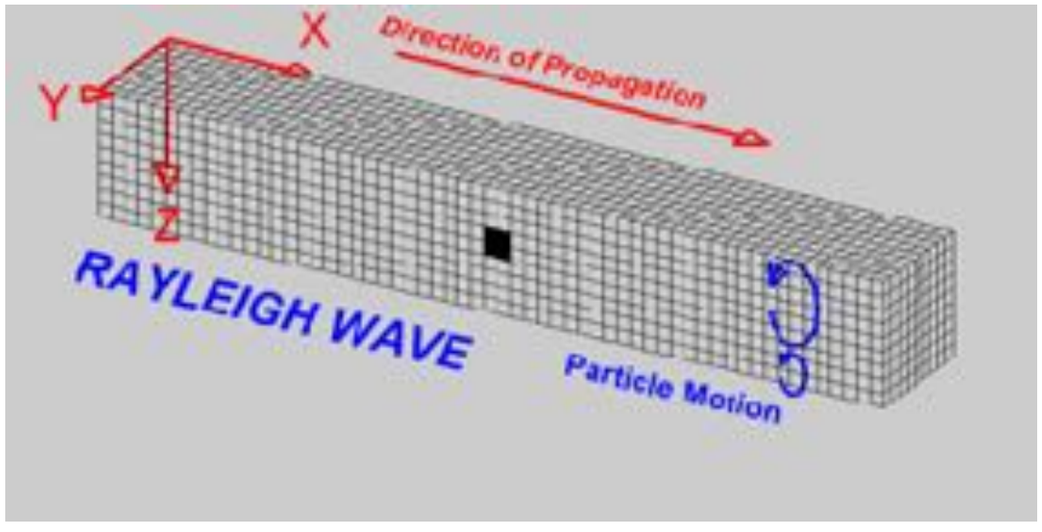


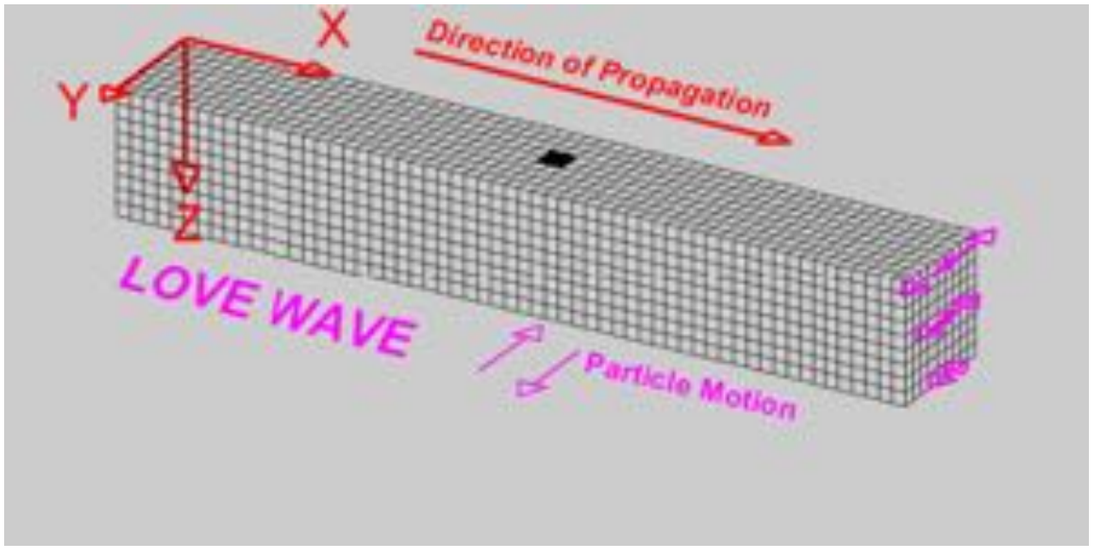
Vitesses sismiques

Selon le type de contraintes, différents types d'onde se propageront









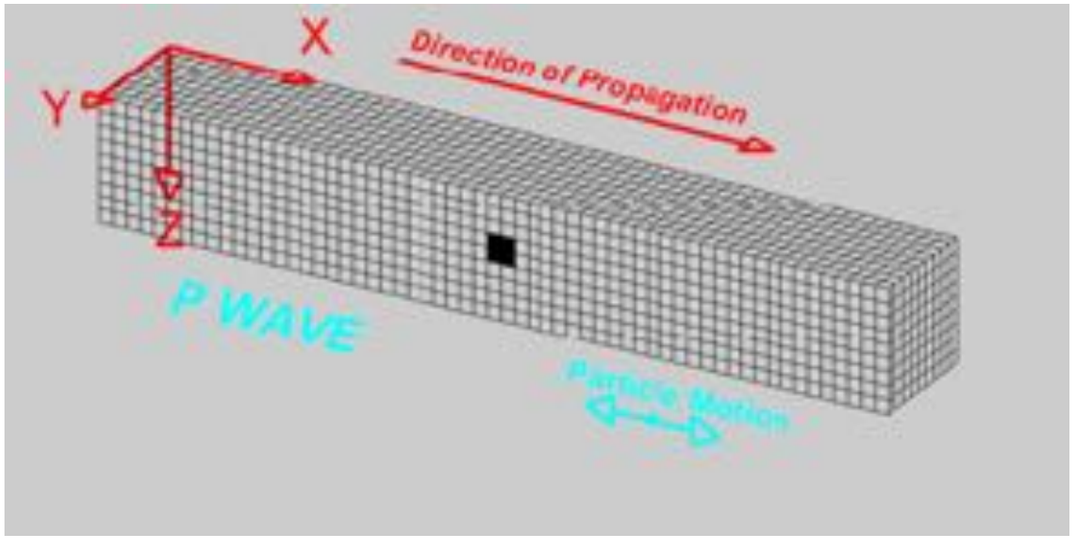
http://web.ics.purdue.edu/~braile/edumod/waves/WaveDemo.htm

Vitesses sismiques

Les vitesses des ondes dépendent des modules élastiques du solide

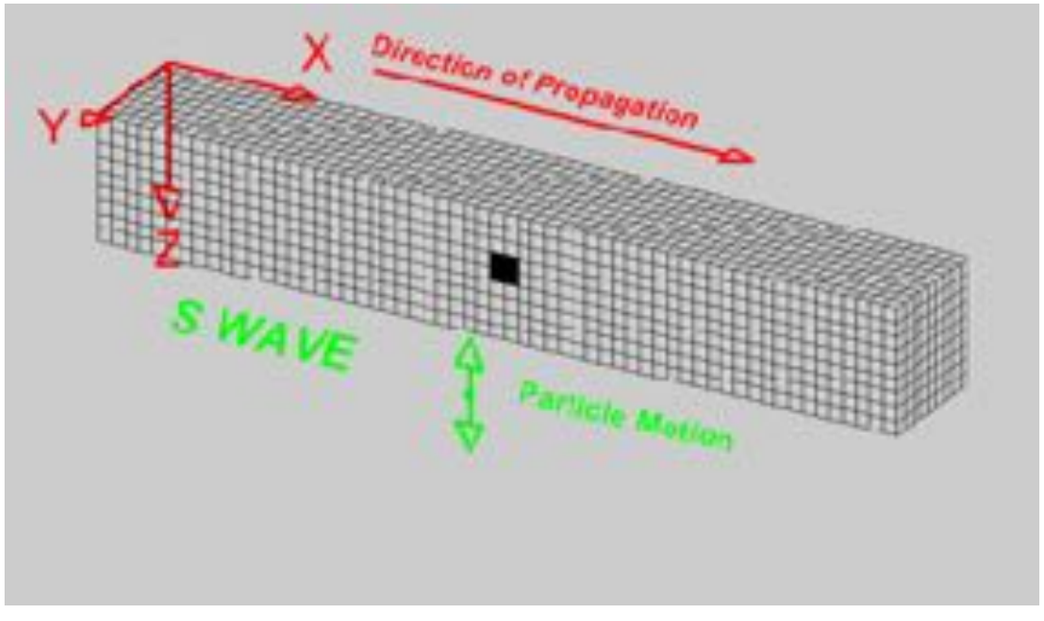
Vitesse des ondes P

$$V_p = \sqrt{\frac{K + 4/3\mu}{\rho}}$$



Vitesse des ondes S

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$



Vitesses sismiques

Plusieurs facteurs affectent les vitesses sismiques:

- Minéralogie: La structure atomique des minéraux et la composition des roches affectent leur densité et leur module élastique

- Porosité et saturation: Un grande porosité diminue les vitesses sismiques. Pour un milieu saturé:

$$V_p = \left[\frac{\phi}{V_f} + \frac{1-\phi}{V_s} \right]^{-1}$$

ϕ : porosité
V_s : Vitesse du solide
V_f : Vitesse du fluide

- Compaction et cimentation: Lorsque les sédiments se compactent, la porosité diminue et la vitesse augmente. Lors de la cimentation, les grains deviennent solidaires, ce qui augmente la rigidité de la matrice et donc les vitesses sismiques.

Vitesses typiques

Quelques vitesses de matériaux communs

Roches

Matériau	Ondes P (m/s)	Ondes S (m/s)
Grès	2000-3500	800-1800
Marne	2000 - 3000	750 - 1500
Craie	2300 - 2600	1100 - 1300
Charbon	2200 - 2700	1000 - 1400
Sel	4500 - 5500	2500 - 3100
Anhydrites	4000 - 5500	2200 - 3100
Calcaires	3500 - 6000	2000 - 3300
Dolomites	3500 - 6500	1900 - 3600
Granite	4500 - 6000	2500 - 3300
Basalte	5000 - 6000	2800 - 2400
Gneiss	4400 - 5200	2700 - 3200

Sédiments

Matériau	Ondes P (m/s)	Ondes S (m/s)
Air	343	N/A
Eau	1450 - 1500	N/A
Glace	3400 - 3800	1700 - 1900
Huile	1200 - 1250	N/A
Sol	300 - 700	100 - 300
Sables	400 - 1200	100 - 500
Sables	1500 - 2000	400 - 600
Argiles	1100 - 2500	200 - 800

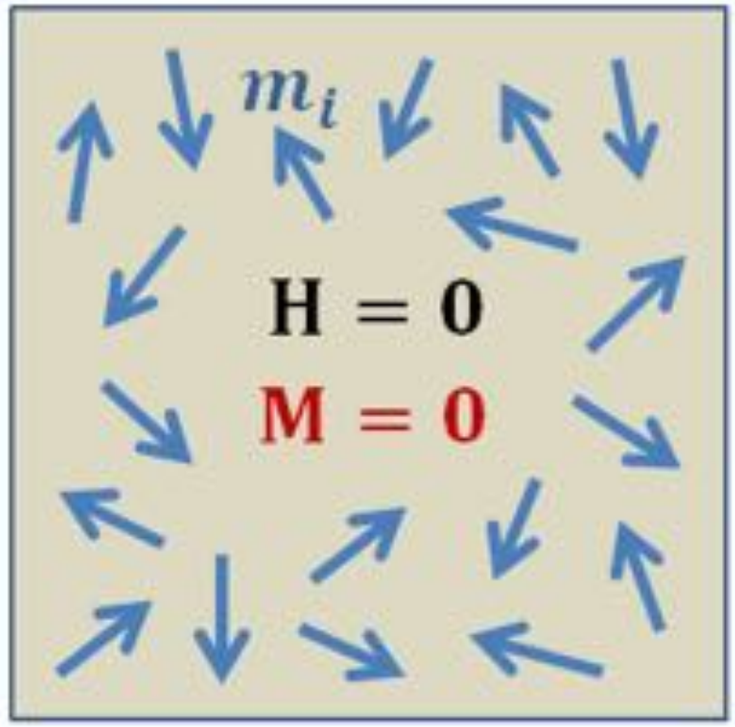
https://gpg.geosci.xyz/content/physical_properties/tables/index.html

Susceptibilité magnétique

En présence d'un champ magnétique un matériau acquerra une magnétisation:

$$\boldsymbol{M} = \kappa \boldsymbol{H}$$

où k est la **susceptibilité magnétique**.

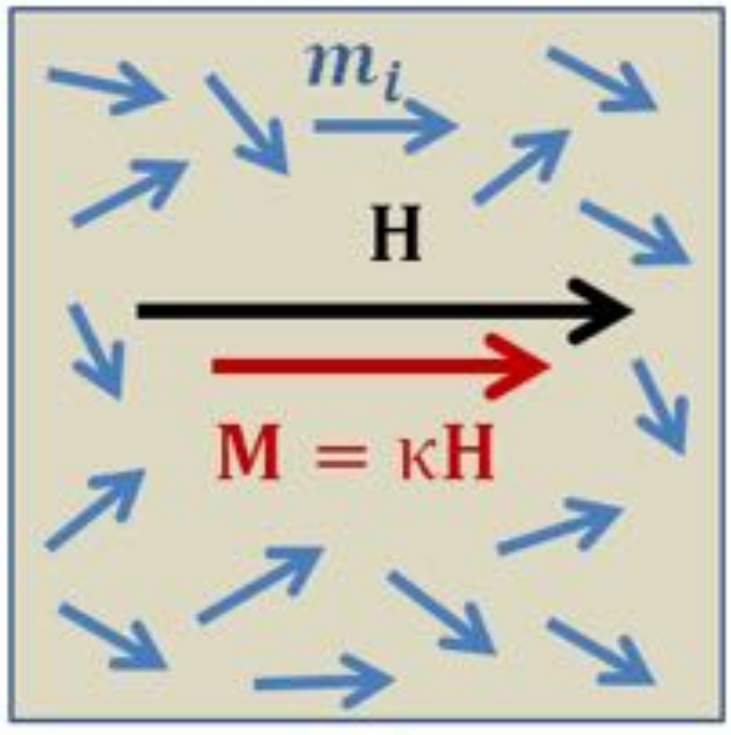


Cette magnétisation augmentera le flux magnétique en présence d'un champ magnétique externe:

$$\boldsymbol{B} = \mu_0(\boldsymbol{H} + \kappa \boldsymbol{H})$$

$$\boldsymbol{B} = \mu \boldsymbol{H}$$

où μ est la **permittivité magnétique**.



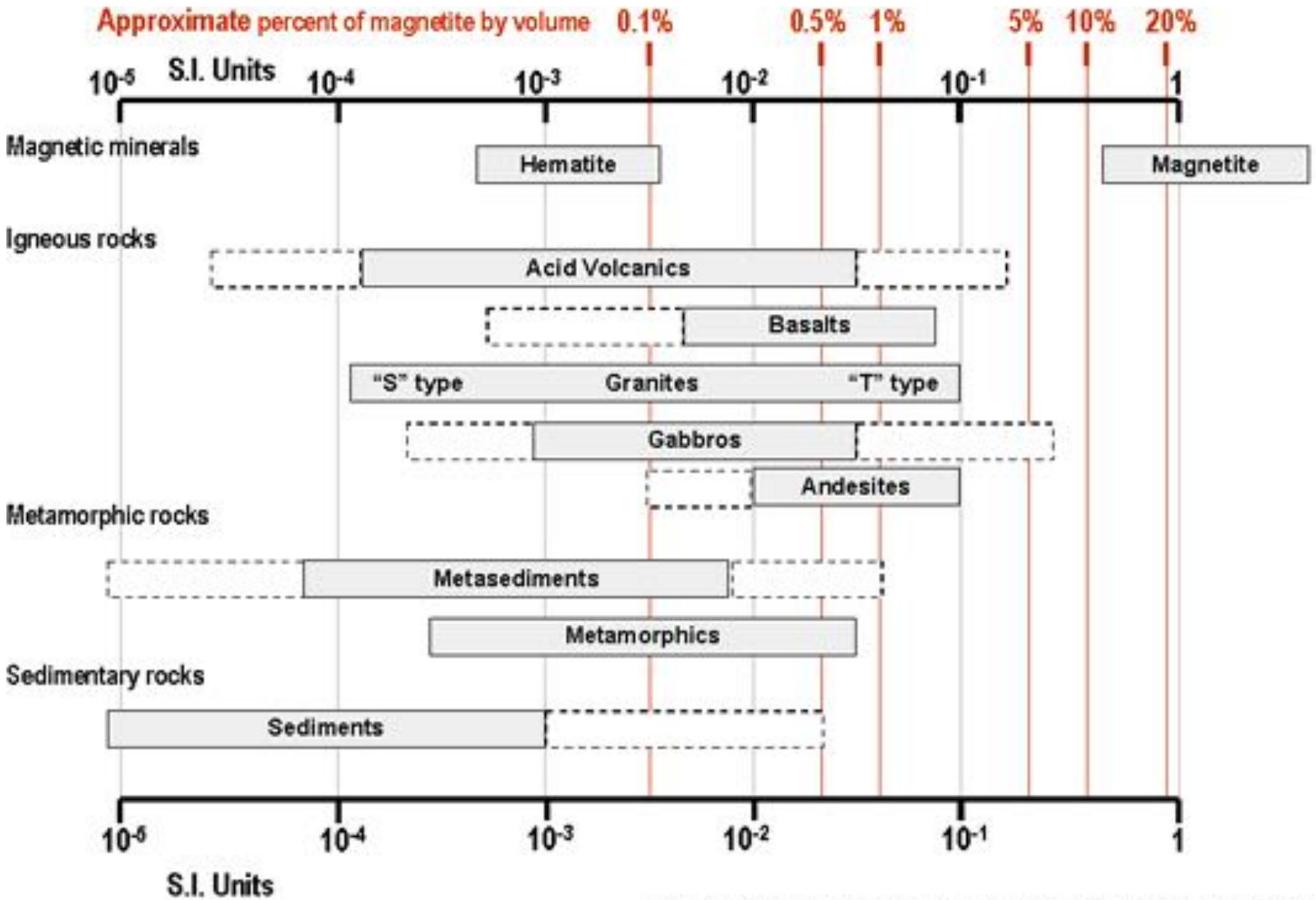
https://gpg.geosci.xyz/content/physical_properties/magnetics_susceptibility_duplicate.html

Susceptibilité magnétique

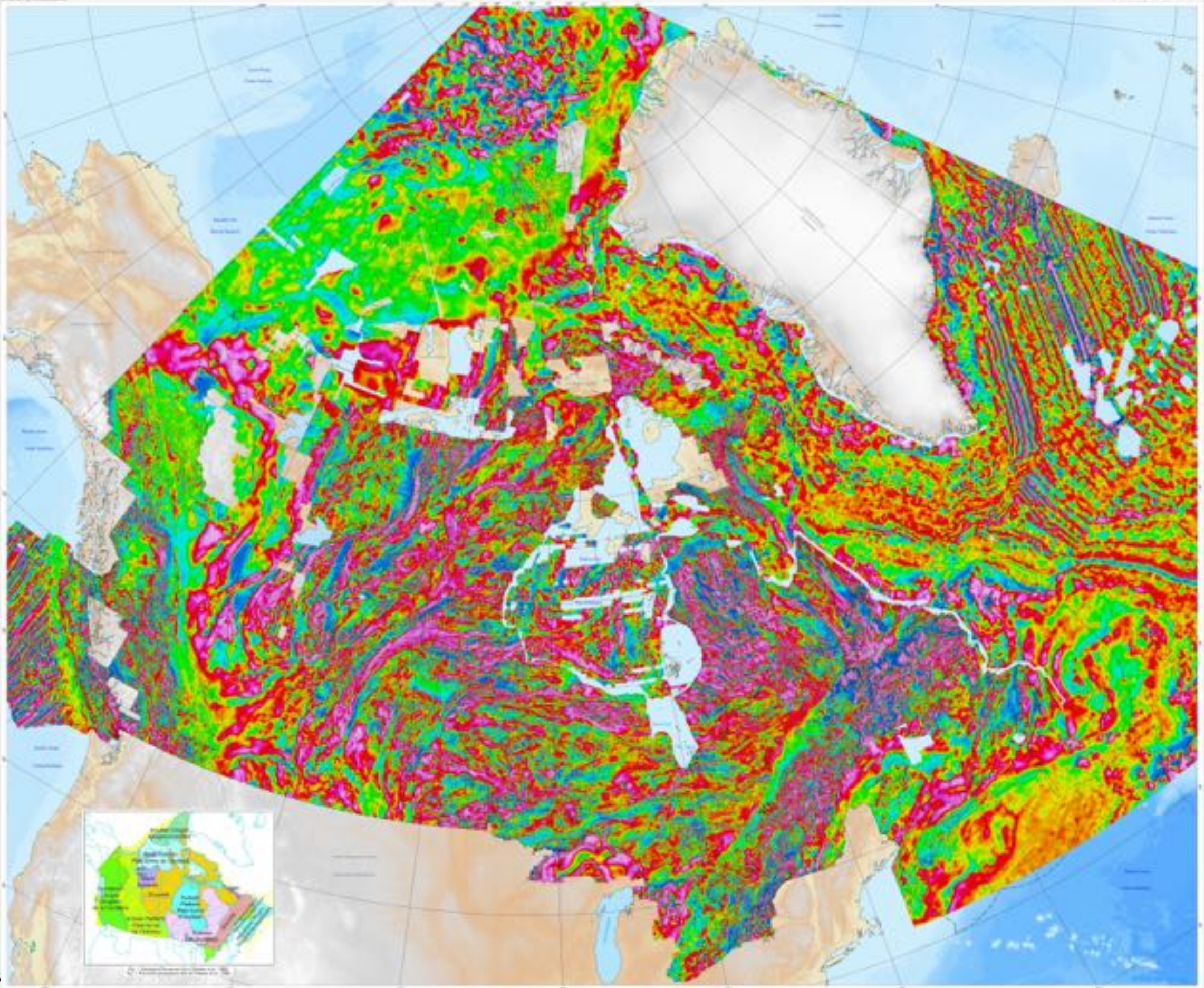
- Diamagnétisme :
  - Alignement dans le sens contraire du champ ($k < 0$) ;
  - Faible amplitude.
  - Graphite, gypse, marbre, quartz, sel.
- Paramagnétisme :
  - Alignement dans le sens du champ ($k > 0$) ;
  - Faible amplitude.
- Ferromagnétisme :
  - Magnétisation spontanée (phénomène quantique) ;
  - Forte amplitude ;
  - Présents dans les cristaux.
  - Magnétite est le minéral principal

Propriété	**Symbole**	**Unités**
Intensité du champ	H	A/m
Flux magnétique	B	T
Magnétisation	M	A/m
Susceptibilité magnétique	κ	*s.u.*
Perméabilité magnétique	μ	H/m

Susceptibilité magnétique des roches



Adapted from Clark and Emerson, Exploration Geophysics, 1991



48

https://geoscan.nrcan.gc.ca/starweb/geoscan/servlet.starweb?path=geoscan/fulle.web&search1=R=297337

Conductivité électrique

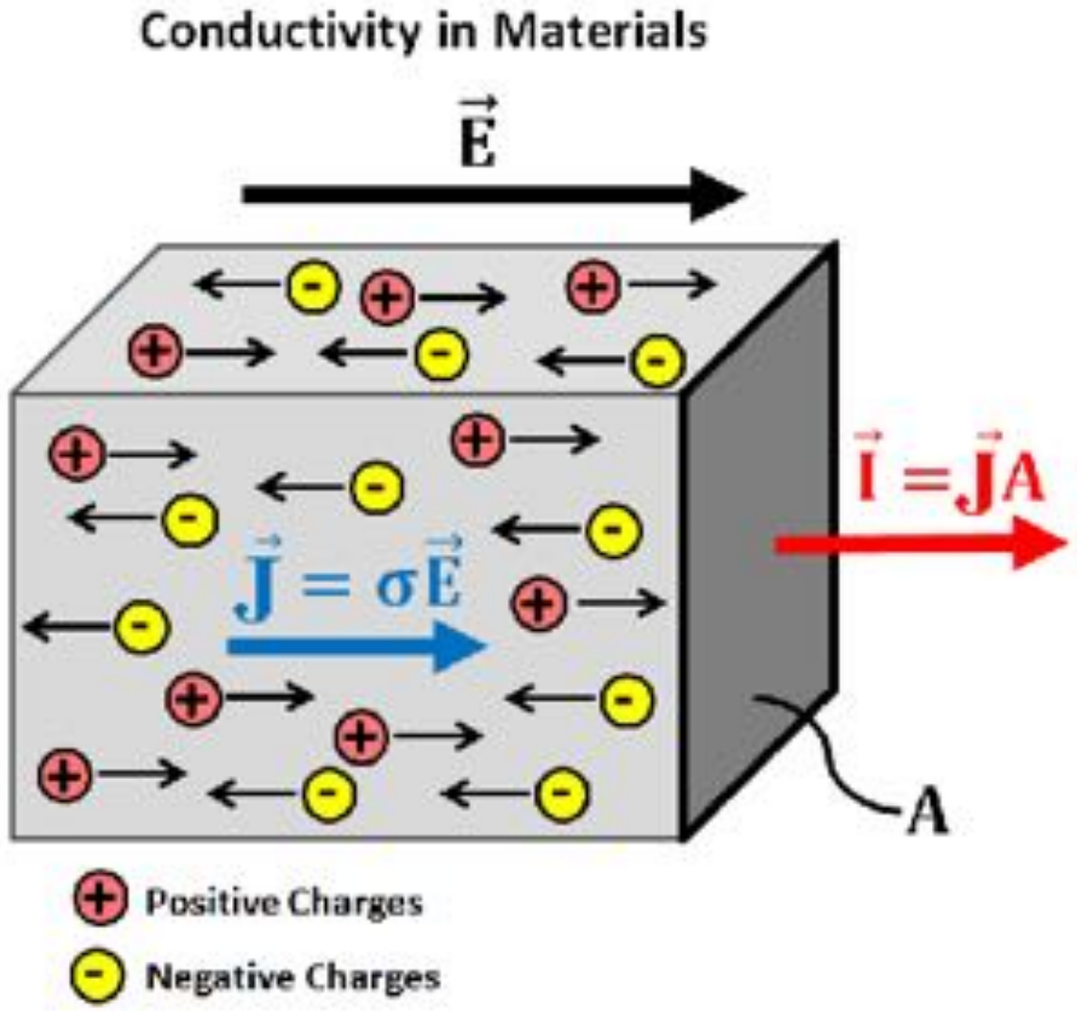
En présence d'un champ électrique, des charges électriques libres subiront une force et entraineront une densité de courant :

$$\boldsymbol{J} = \sigma \boldsymbol{E}$$

La résistivité est l'inversion de la conductivité:

$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$

La résisté s'exprime en ohm-m et la conductivité en S/m.



https://gpg.geosci.xyz/content/physical_properties/physical_properties_conductivity.html

Conductivité électrique

Plusieurs facteurs affectent la conductivité des matériaux:

- Porosité et saturation: Facteur majeur de la résistivité électrique. La majeur partie de la conduction se fait au travers d'ions dans l'eau des pores. La loi d'Archie décrit ce phénomène:

$$\rho_{eff} = a\phi^{-m} S_w^{-n} \rho_w$$

S : Saturation
ρ_w : conductivité de l'eau
ϕ : Porosité

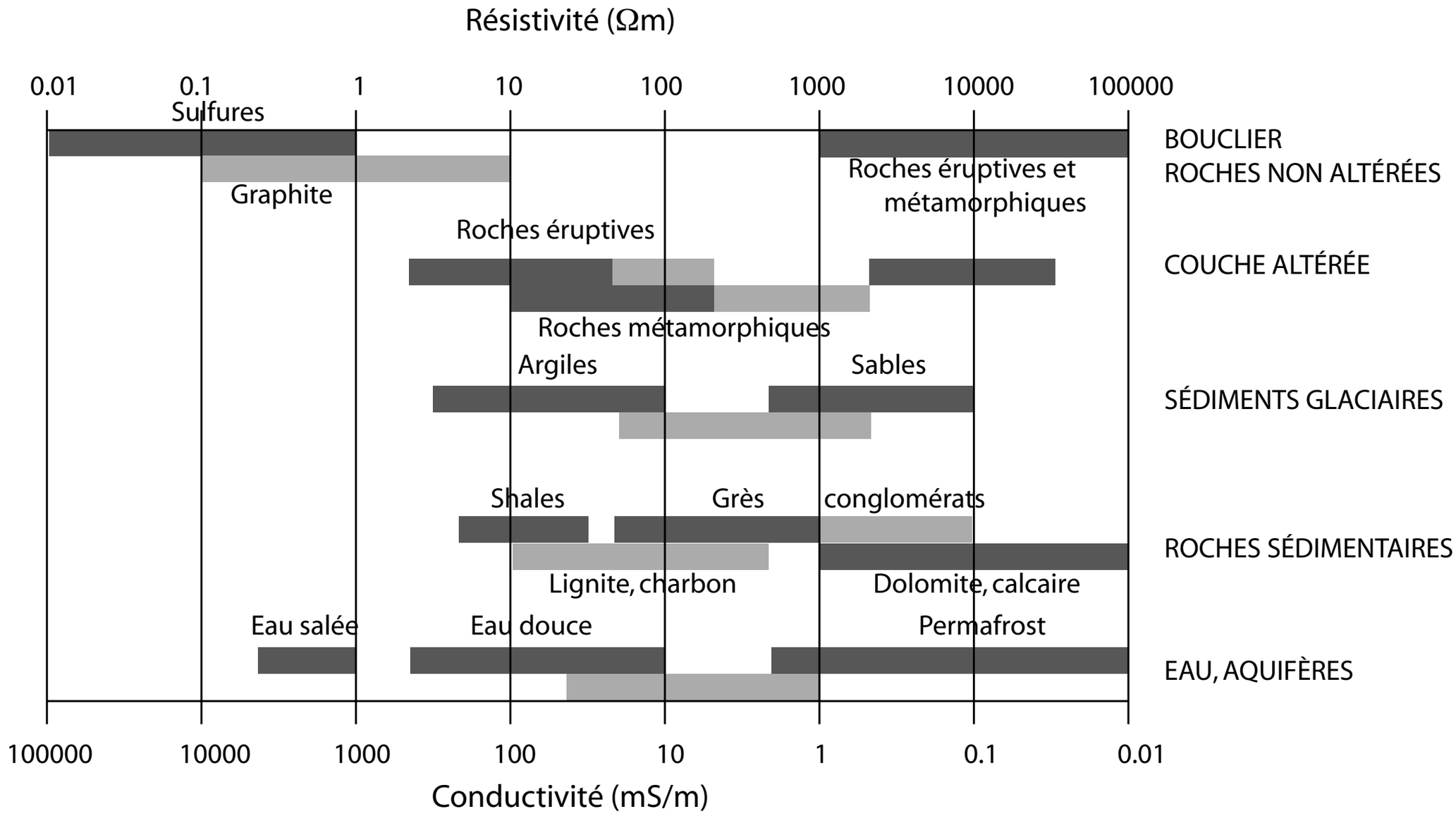
où a, m et n sont des constantes empiriques.

- Tortuosité: La connexion des pores affecte aussi grandement le déplacement du courant dans le fluide, et donc la résistivité électrique

- Minéralisation: Certains minéraux sont hautement conducteurs, et leur présence abaisse la conductivité globale des roches.

Conductivité électrique

La conductivité électrique varie sur plusieurs ordres de grandeur!



Permittivité diélectrique

- Sous un champ électrique E, la matière (les atomes) se polarisent

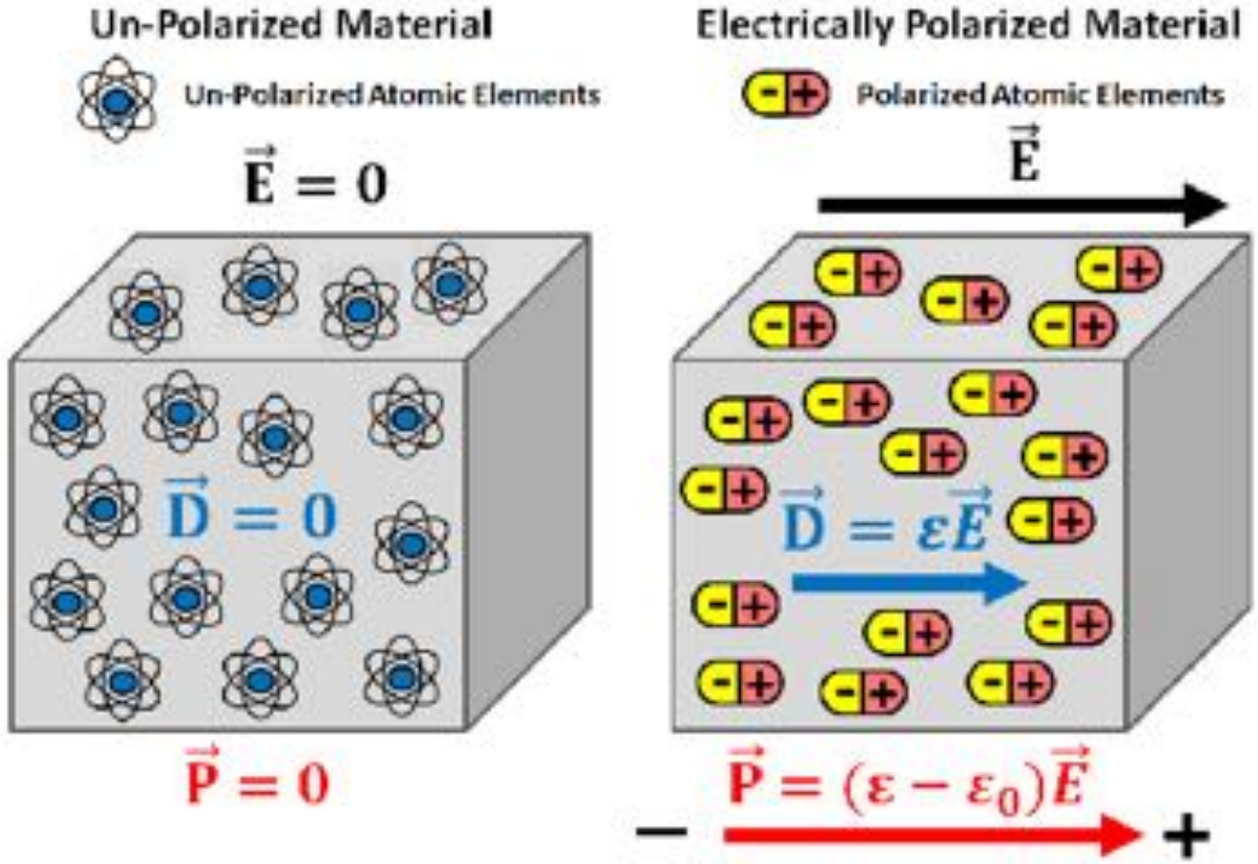
$$\boldsymbol{P} = (\epsilon - \epsilon_0)\boldsymbol{E}$$

- La polarisation s'ajoute au déplacement électrique

$$\boldsymbol{D} = \epsilon_0\boldsymbol{E} + \boldsymbol{P}$$

- La constante entre déplacement électrique et champ électrique est:

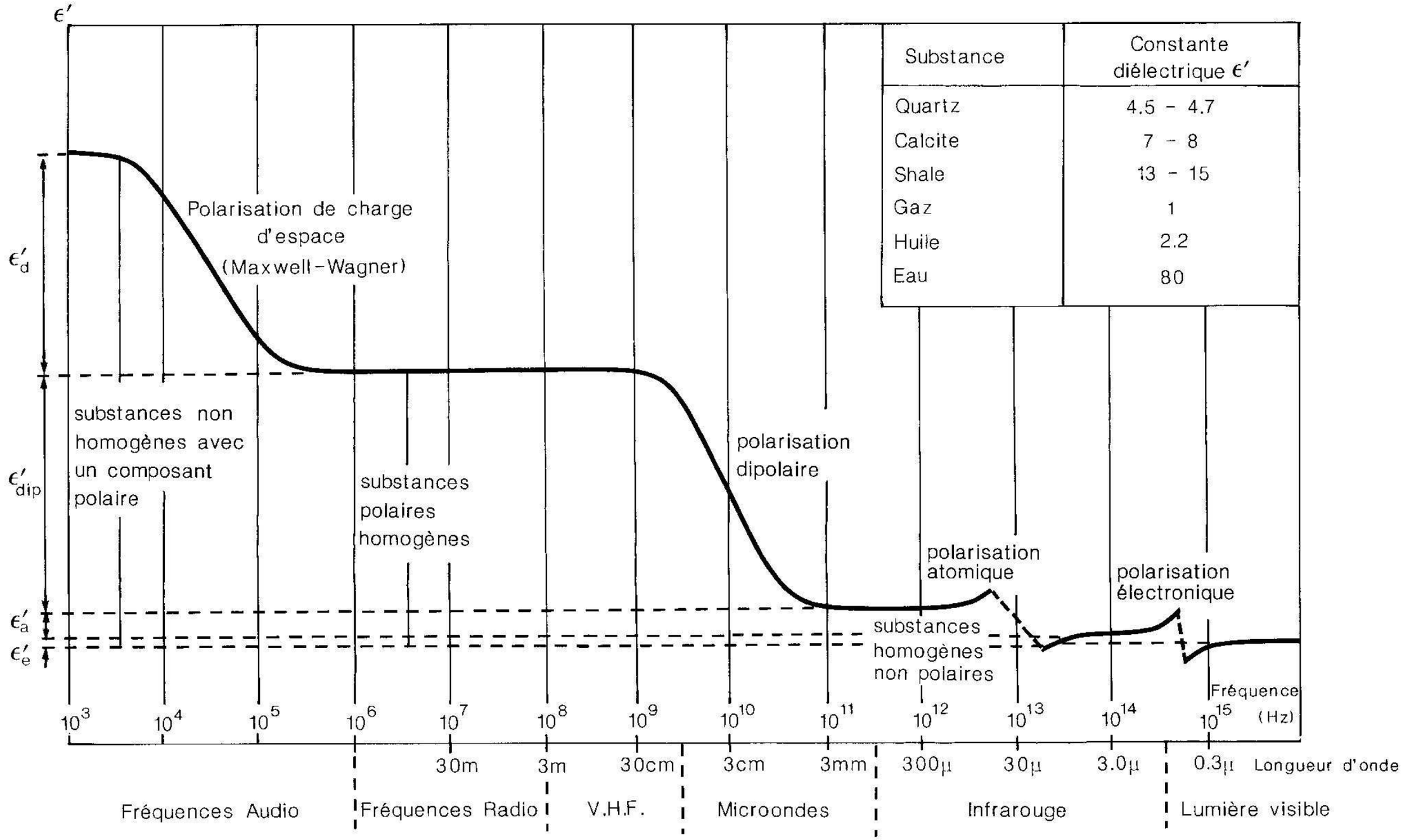
$$\boldsymbol{D} = \epsilon\boldsymbol{E}$$



https://gpg.geosci.xyz/content/physical_properties/physical_properties_dielectric_permittivity.html

Permittivité diélectrique

La permissivité électrique dépend grandement de la fréquence



Substance	Constante diélectrique ϵ'
Quartz	4.5 - 4.7
Calcite	7 - 8
Shale	13 - 15
Gaz	1
Huile	2.2
Eau	80

Permittivité diélectrique

La permittivité électrique affecte la propagation des ondes EM. À haute fréquence, leur vitesse est:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

où $\epsilon_r = \epsilon / \epsilon_0$ est la permittivité relative.

La permittivité relative est reliée empiriquement à la saturation des sols et la porosité par la loi de CRIM:

$$\sqrt{\epsilon_r} = \phi\sqrt{\epsilon_r^w} + (1-\phi)\sqrt{\epsilon_r^m} + \phi(1-S)\sqrt{\epsilon_r^a}$$

S : Saturation
ϕ : Porosité
ϵ_r^w : Permittivité relative de l'eau
ϵ_r^m : Permittivité relative de la matrice
ϵ_r^a : Permittivité relative de l'air

Permittivité diélectrique

Quelques exemples de matériaux et de permittivité.

Minéraux

Material	ϵ_r
Albite	7,0
Calcite	6,4
Gypse	6,5
Halite	5,9
Kaolinite	11,8
Mica	6,4
Olivine	7,2
Orthoclase Feldspar	5,6
Plagioclase Feldspar	7
Pyroxene	8,5
Quartz	4,5

Roches

Material	ϵ_r
Shales	5 - 15
Grès (sec)	2 - 3
Grès (saturé)	5 - 10
Calcaires	4 - 8
Granite	4 - 6
Charbon (sec)	3,5
Charbon (humide)	8

Sédiments

Rock/Soil Type	ϵ_r
Silt	5 - 30
Sable (sec)	3 - 6
Sable (saturé)	10 - 30
Argile (sec)	2 - 6
Argile (humide)	15 - 40

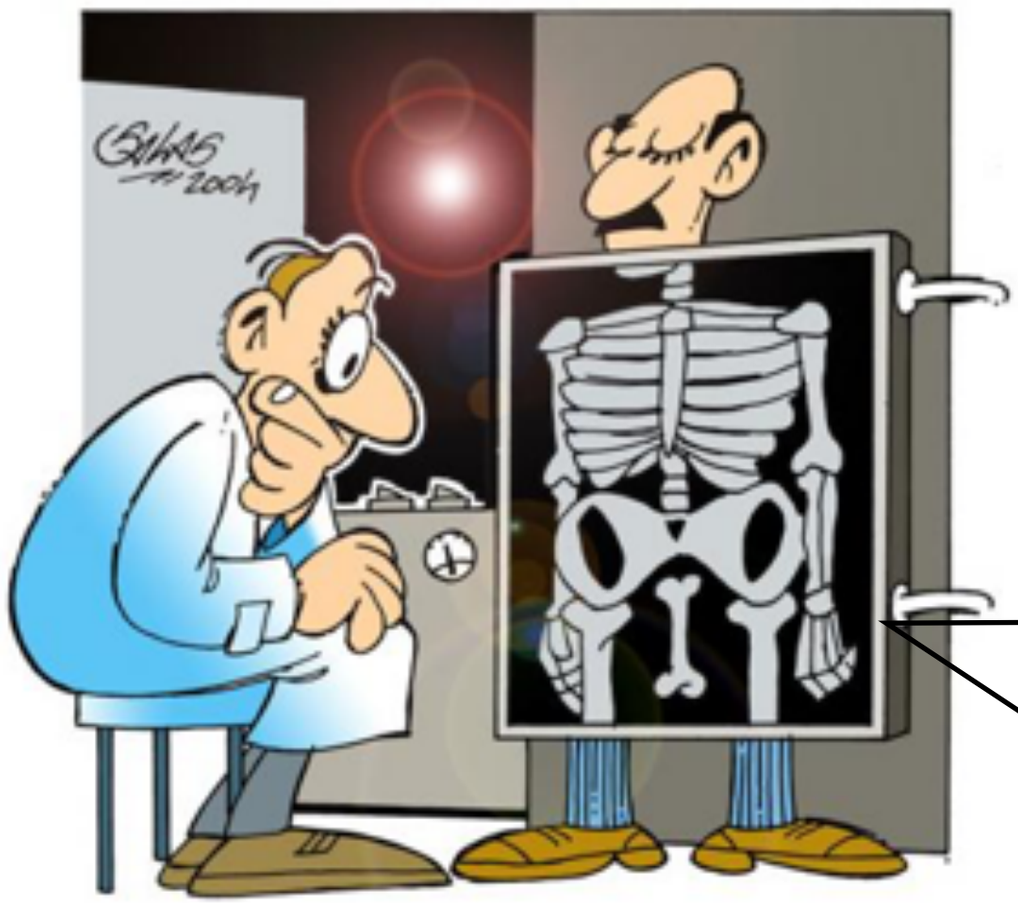
Eau

Material	ϵ_r
Glace (eau douce)	3 - 4
Glace (eau salée)	4 - 8
Neige	8 - 12
Pergélisol	4 - 8

https://gpg.geosci.xyz/content/physical_properties/tables/index.html

3.0 Méthodologie géophysique

Qu’est-ce que la géophysique appliquée



Nous voudrions imager les propriétés géologiques de la sous-surface tout comme le docteur procède à une radiographie pour imager l’intérieur de son patient!

Certains principes physiques nous permettent de telles mesures non-locales.

Champ magnétique

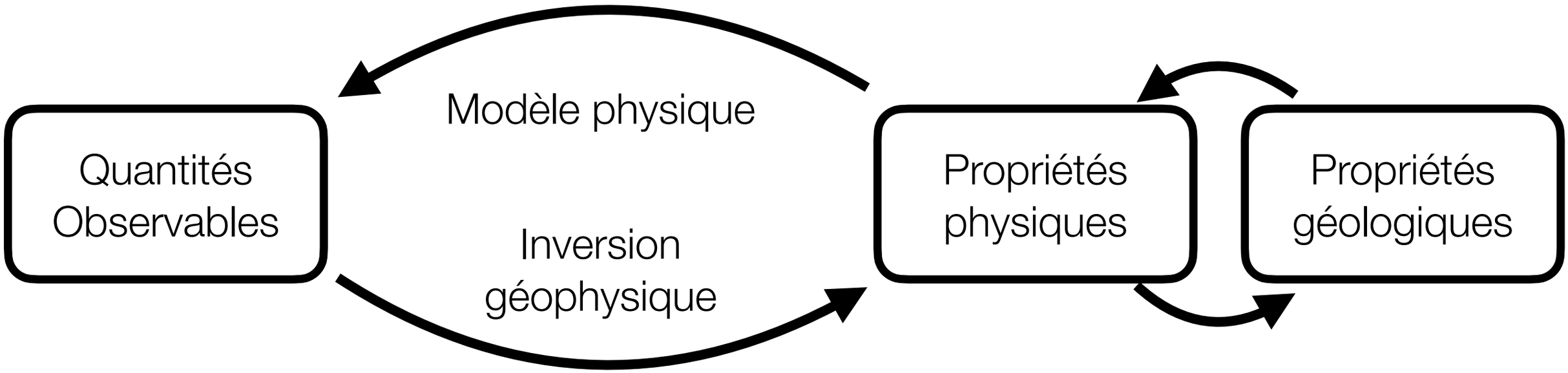
Potentiel électrique

Ondes mécaniques

Champ gravitationnel

Ondes électromagnétiques

Propriétés physiques et modèles physiques



En géophysique, nous voulons faire la **mesure de quantités observables** afin d'**inférer les propriétés physiques** de la sous-surface pour en faire un **interprétation géologique**.

Questions importantes:

- Quelles quantités observables peuvent être reliées à quelles propriétés physiques ?
- Quel est l'impact des incertitudes des mesures sur l'estimation des propriétés physiques ?
- Est-ce que les mesures requises sont réalisables ?

Méthodes géophysiques classiques

Famille	Loi physique	Observable	Propriété
Gravimétrie	Loi de la gravité	Accélération gravitationnelle	Densité
Sismique	Mécanique des milieux continus	Vibrations	Modules élastiques
Magnétisme	Équations de Maxwell	Champ magnétique	Susceptibilité magnétique
Électrique			Résistivité électrique
Électromagnétique		Champ électrique	Résistivité électrique
Géoradar		Potentiel électrique	Permitivité diélectrique
Résonance nucléaire			Contenu en eau

Méthodes géophysiques classiques

Famille
Gravimétrie
Sismique
Magnétisme
Électrique
Électromagnétique
Géoradar
Résonance nucléaire

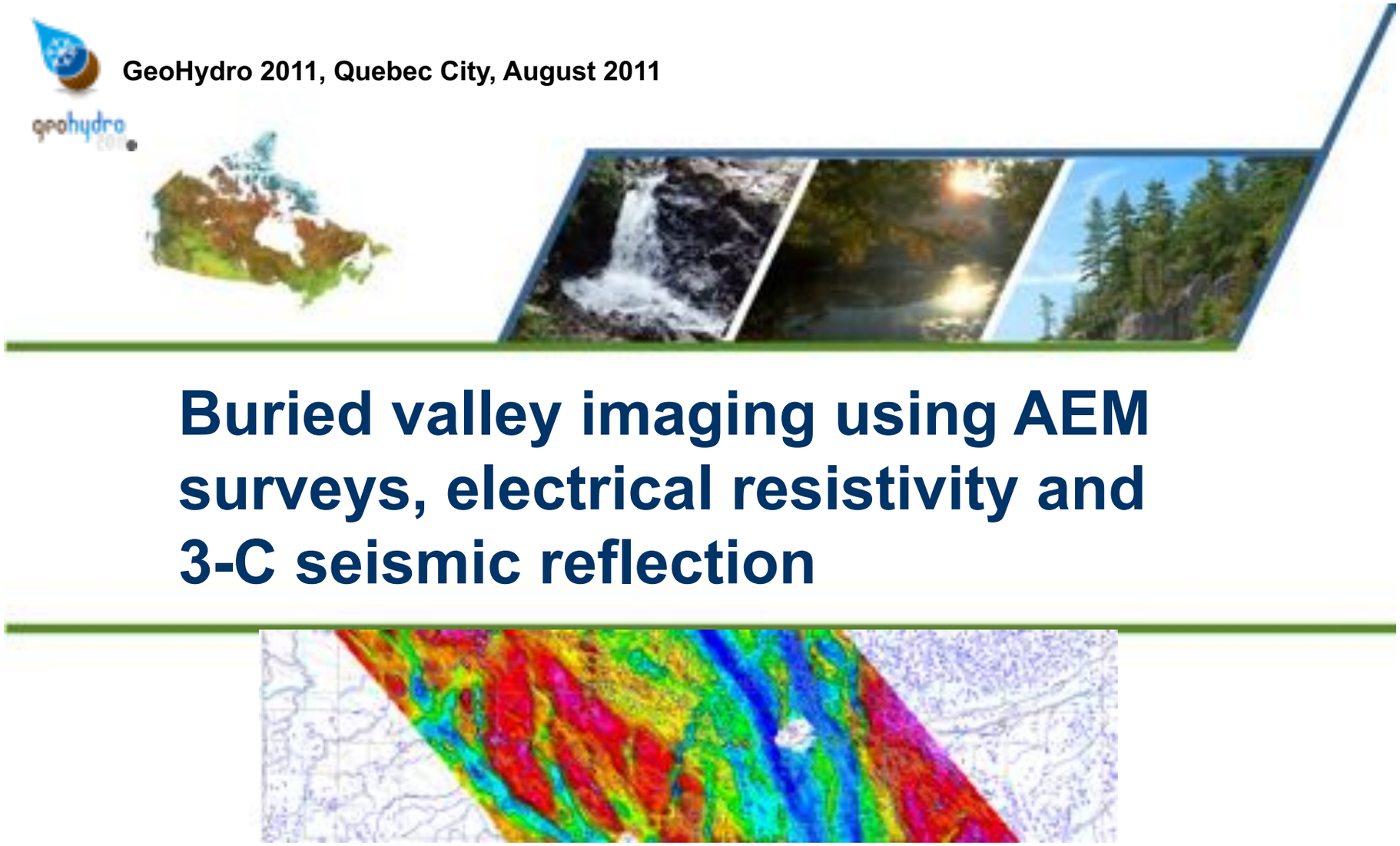
La géophysique en 7 étapes

1. Formulation du problème
2. Choisir les propriétés géophysiques à mesurer
3. Sélectionner une méthode géophysique
4. Acquérir les données
5. Traiter les données
6. Interpréter les résultats
7. Synthèse

https://gpg.geosci.xyz/content/foundations/foundations_sevensteps.html

La géophysique en 7 étapes

Pour montrer les 7 étapes, voici une étude de cas tirée de:

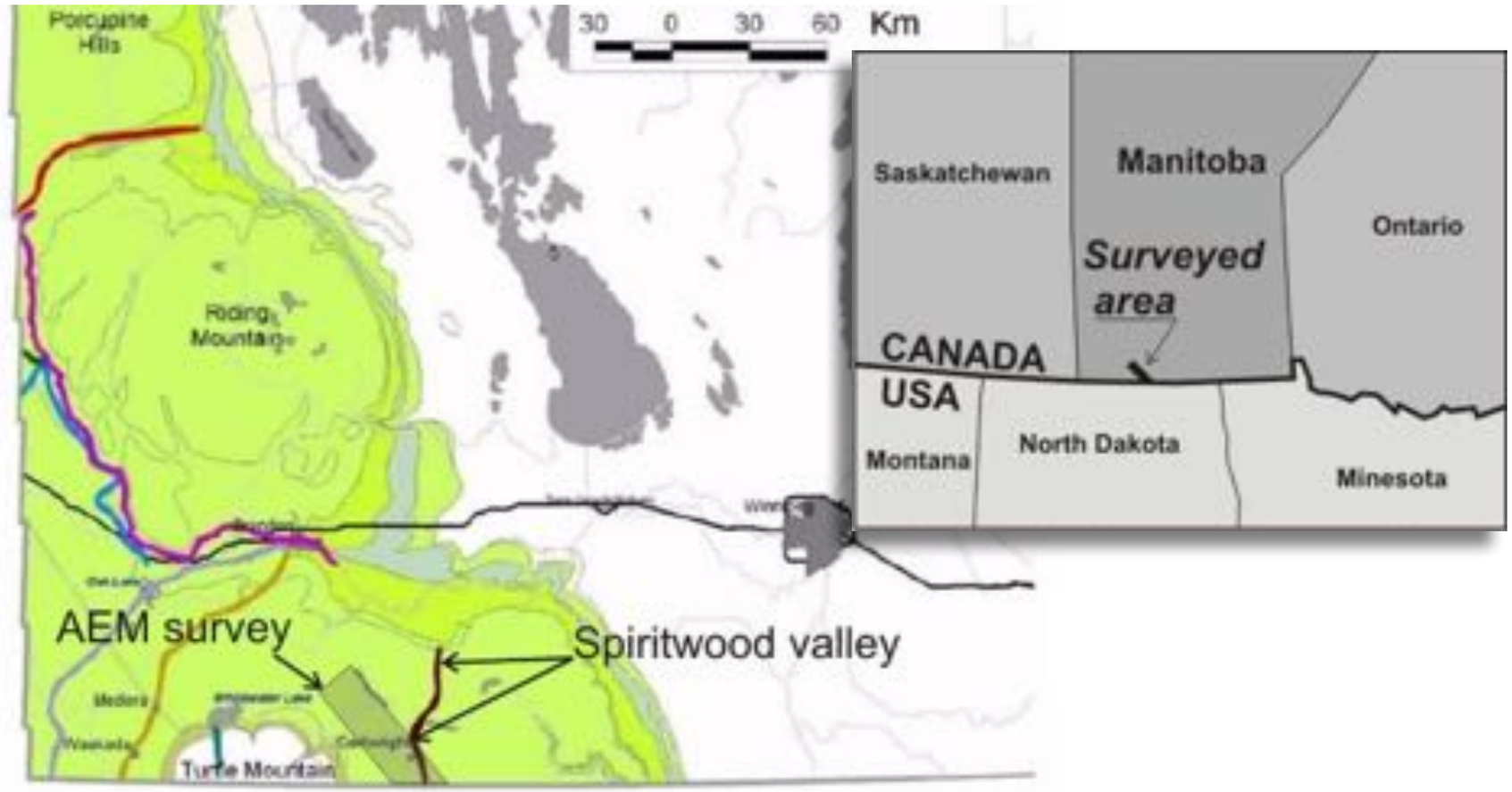


Étape 1: Problématique

L'approvisionnement en eau souterraine est un enjeu majeur dans les prairies canadiennes.

Des vallées enfouies sont d'excellents aquifères, mais sont difficile à localiser.

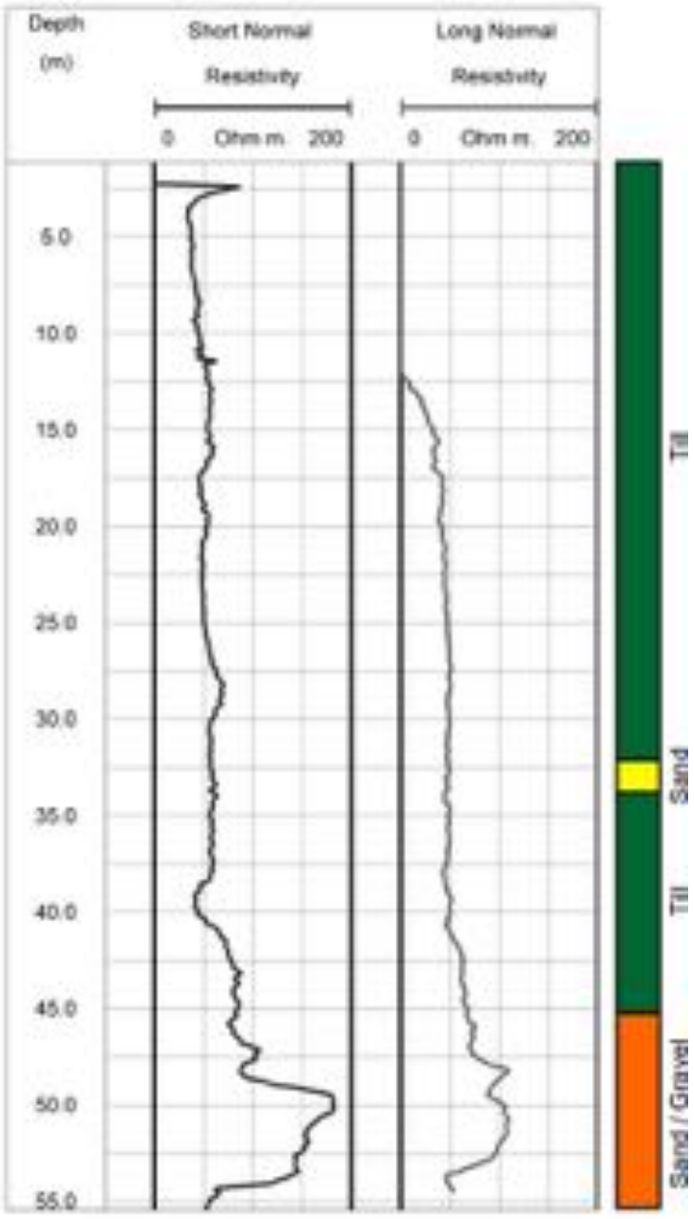
L'**objectif des levés** de géophysique est de localiser et de caractériser le réseau de vallées enfouies dans la région

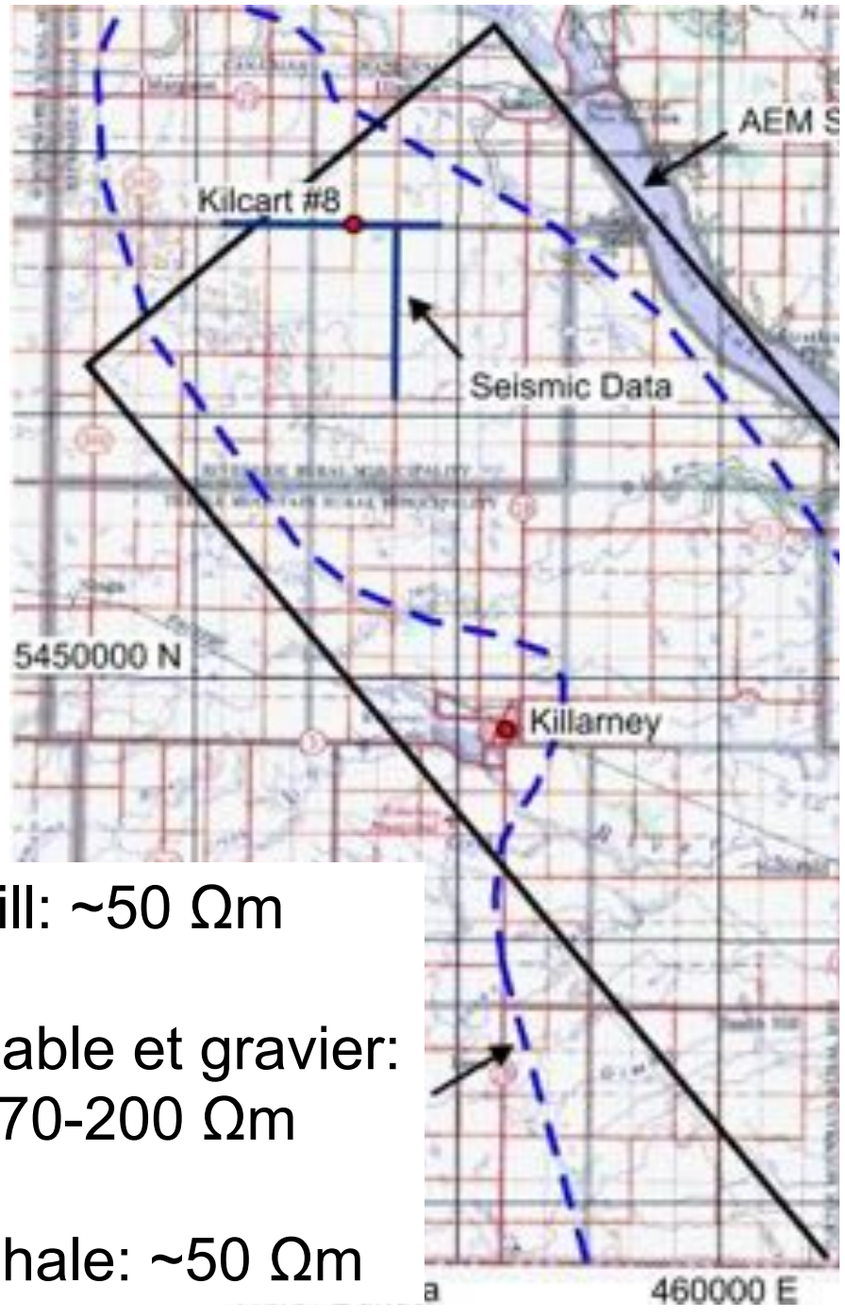


Estimated distribution of buried valleys of southwestern MB. Green represents shales of the Manitoba Upland (Betcher et al., 2005)

Étape 2: Choix des propriétés géophysiques

Kilcart #8 Borehole





Till: ~50 Ωm

Sable et gravier: ~70-200 Ωm

Shale: ~50 Ωm

Les dépôts grossiers présents dans les eskers enfouis on une **résistivité électrique** beaucoup plus élevé que les unités encaissantes.

La stratification des dépôts glacières ainsi que le contact entre dépôts meubles et roc présentent des variations d'**impédance acoustique** notables.

Étape 3: Choix des méthodes géophysiques

Trois méthodes ont été sélectionnées

1. TDEM aéroporté
   - Mesure la résistivité électrique du sol
   - Permet de couvrir un très grande superficie
   - Faible résolution en profondeur

2. Résistivité DC
   - Mesure de la résistivité électrique
   - Meilleure résolution
   - Acquisition plus lente et couteuse

3. Sismique réflexion
   - Mesure les changements d'impédance
   - Grande précision des contacts géologiques
   - Identification de la nature des dépôts difficile
   - Acquisition plus lente et couteuse

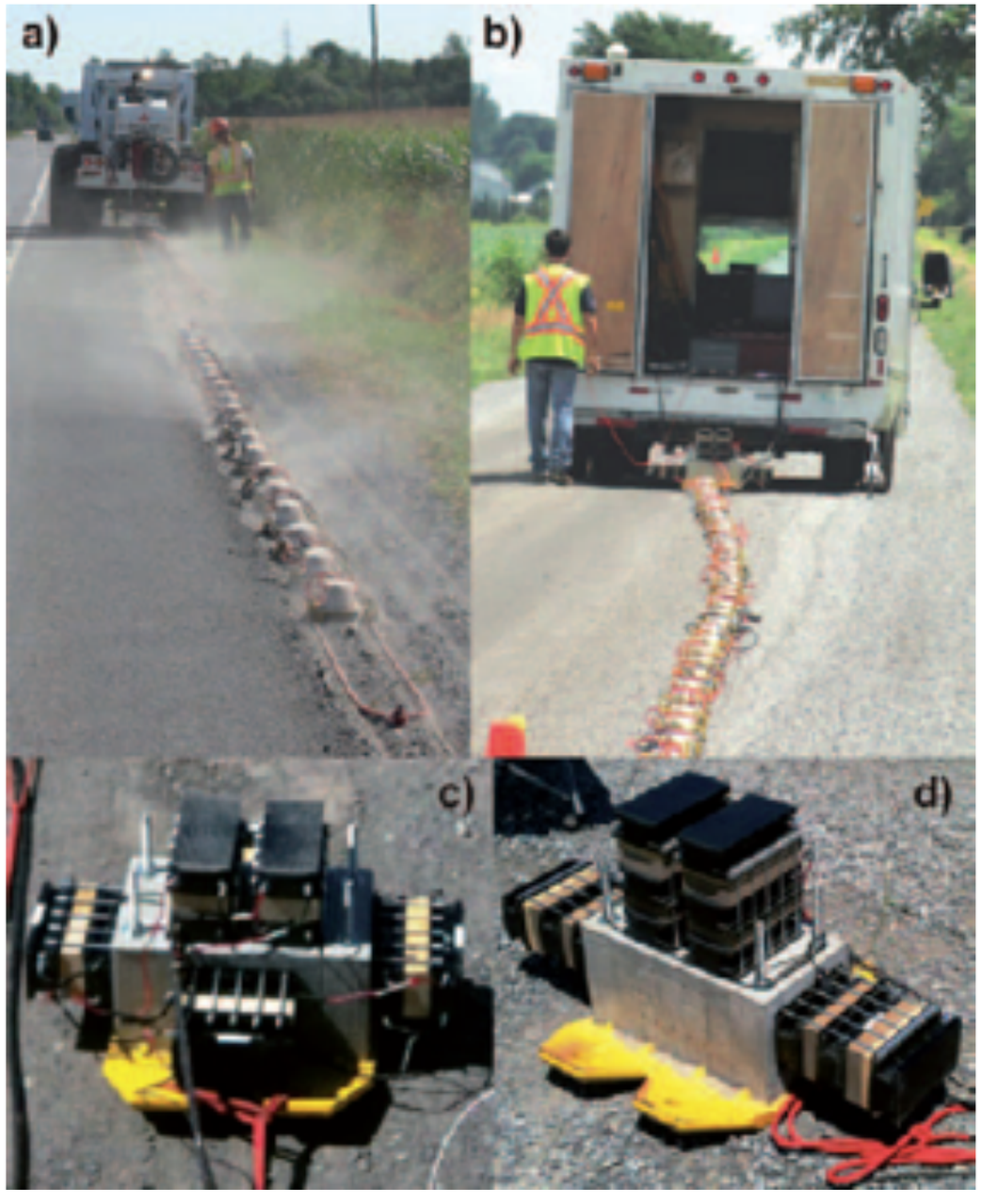
Étape 4: Acquisition des données

Acquisition des données

- Contrôle de qualité
- Santé sécurité
- Efficacité sur le terrain
- Connaissance des équipements

Ceci requiert de l'expérience. Faire appel à des compagnies de service est souvent nécessaire.

Acquisition à l'interne des données sismiques

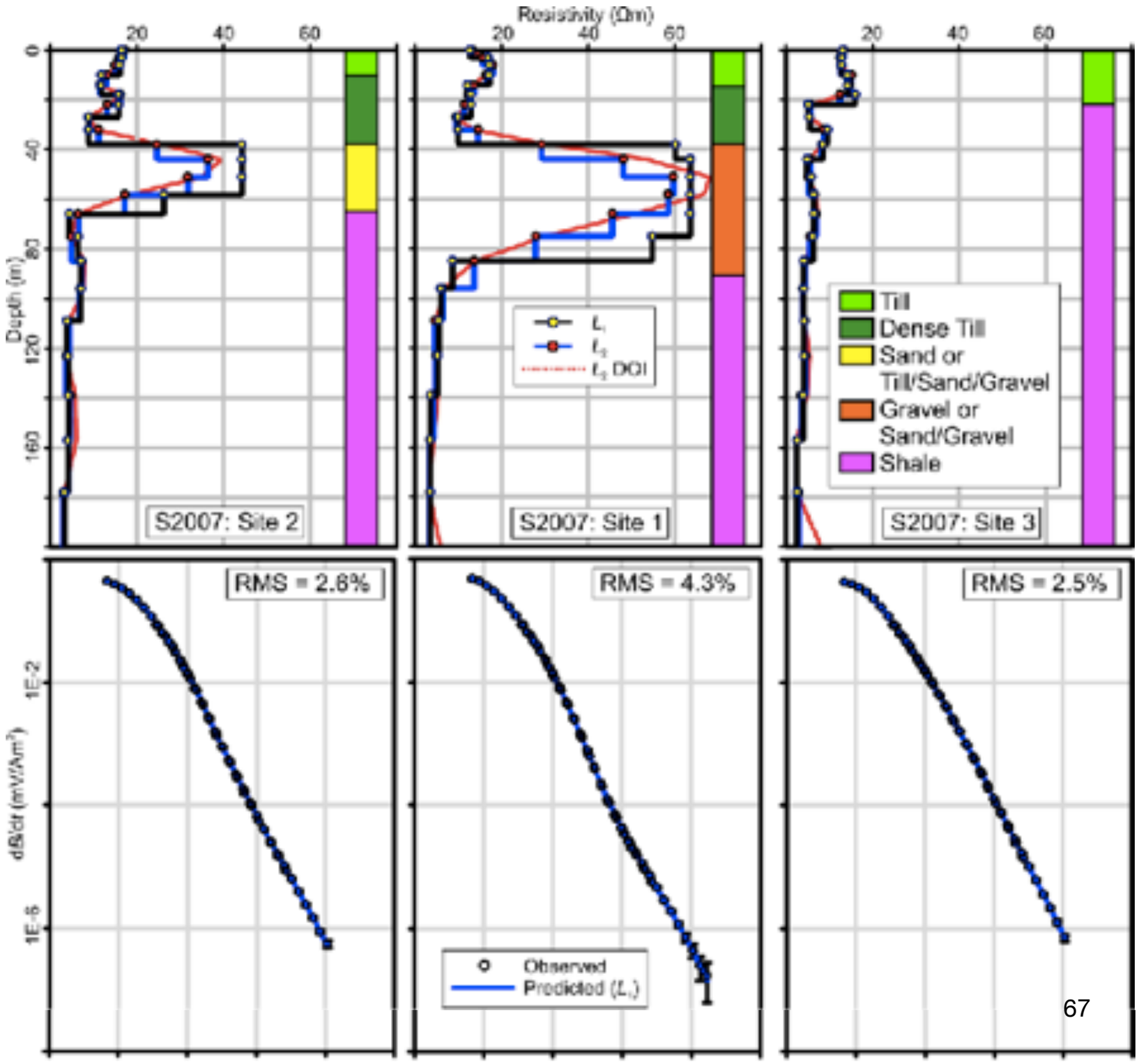


Acquisition par Aerotem (maintenant Geotech)

Étape 5: Traitement des données: TDEM

Le traitement des données est hautement variable selon les méthodes. Ce qui a été fait ici:

1. Contrôle de qualité des données
2. Mesure et modélisation des niveaux de bruit
3. Filtre des données aberrantes
4. Inversion des données par moindre carré

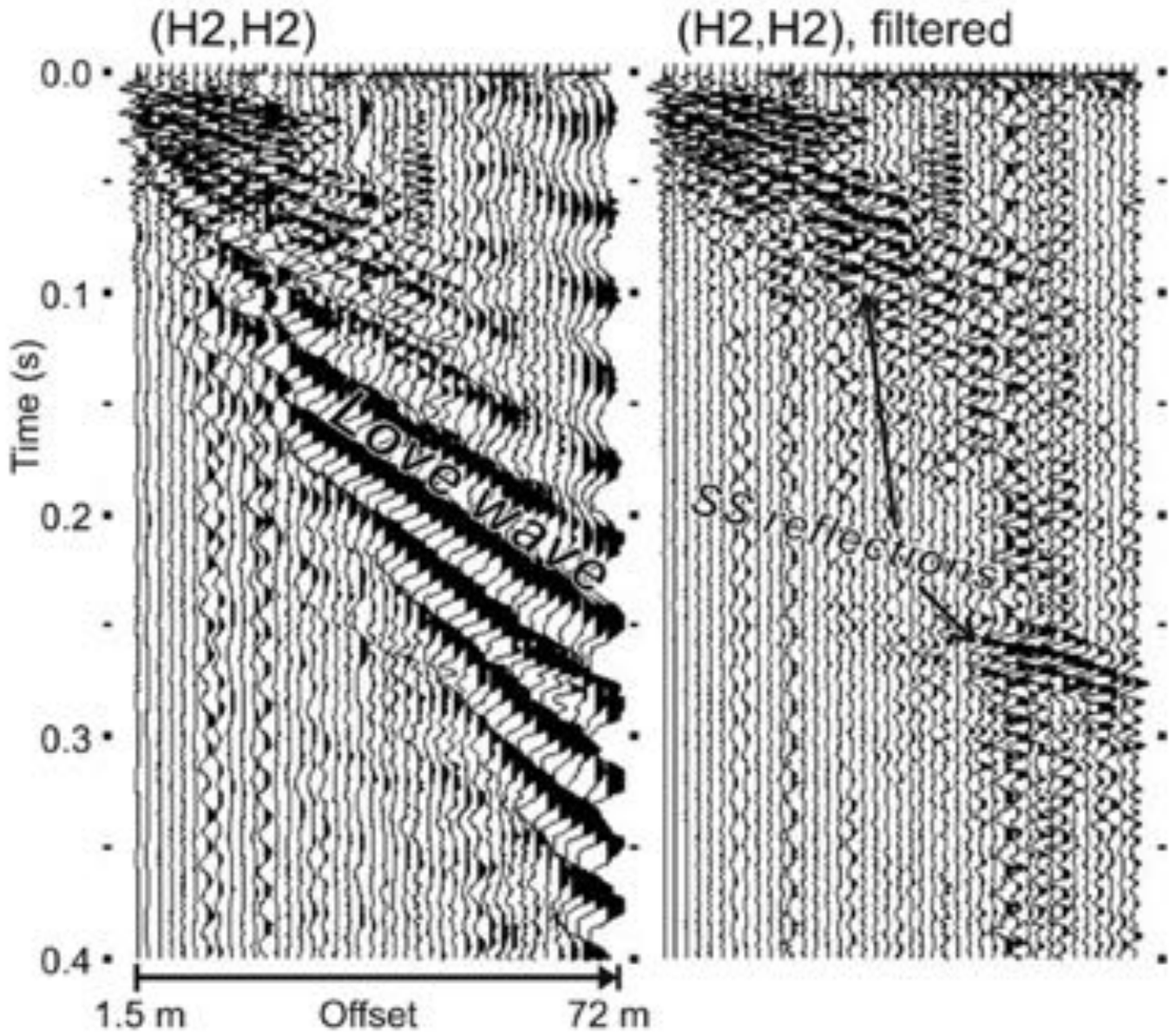


Étape 5: Traitement des données: Sismique

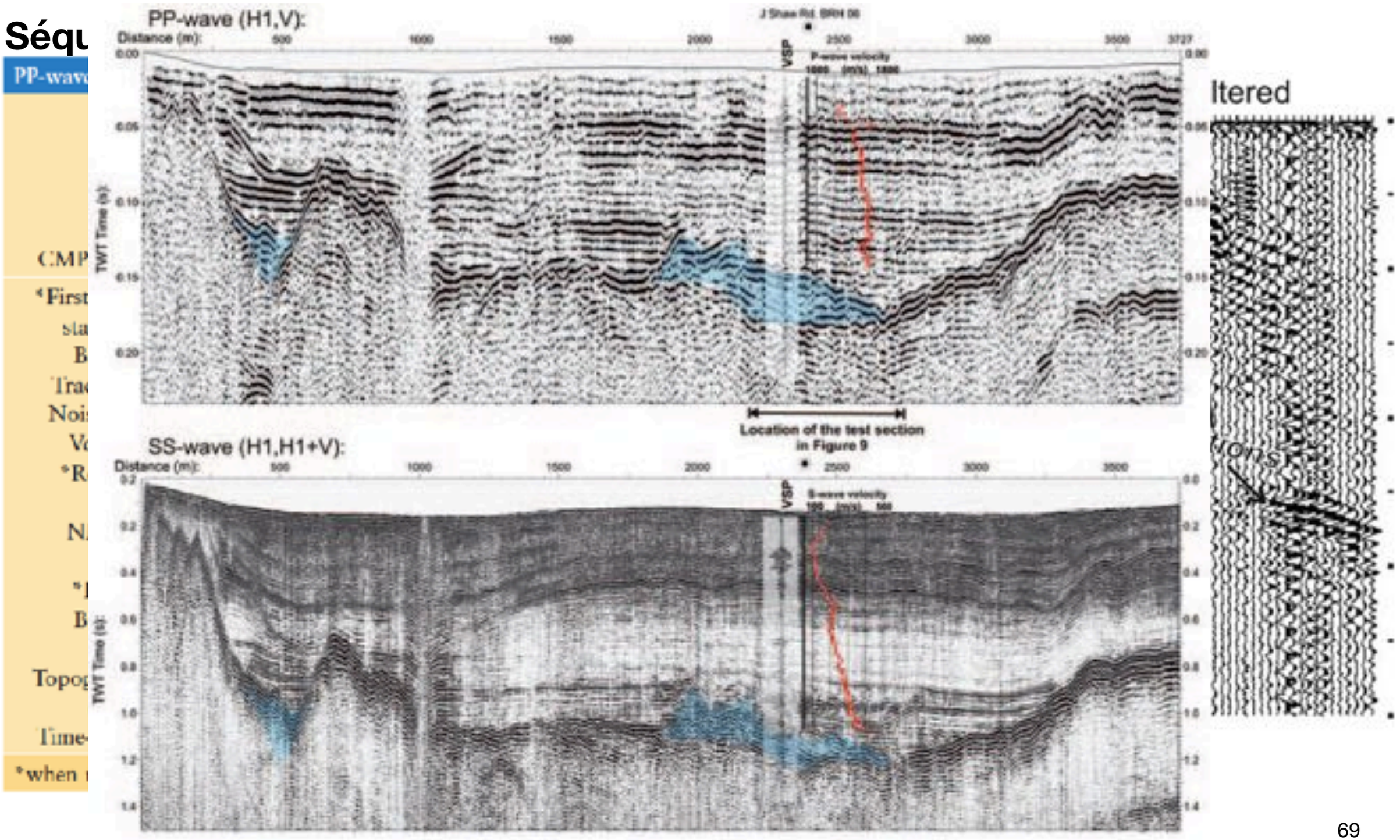
Séquence de traitement

PP-wave processing	SS-, PS-wave processing
SEG2 to KGS-SEGY conversion AGC: 1s Correlation 3-C separation Geometry edition CMP sorting with binning at half of the shot spacing	
*First break picking for statics corrections Band pass filter Trace normalization Noise surgical mutes Velocity analysis *Refraction statics application NMO correction Stack *Deconvolution Band pass filter *Migration Topography statics on a datum plane Time–depth conversion	Band pass filter Trace normalization Noise surgical mutes Velocity semblance analysis NMO correction Stack Band pass filter *Migration Topography statics on a datum plane Time–depth conversion
*when required	

Filtre des données brutes



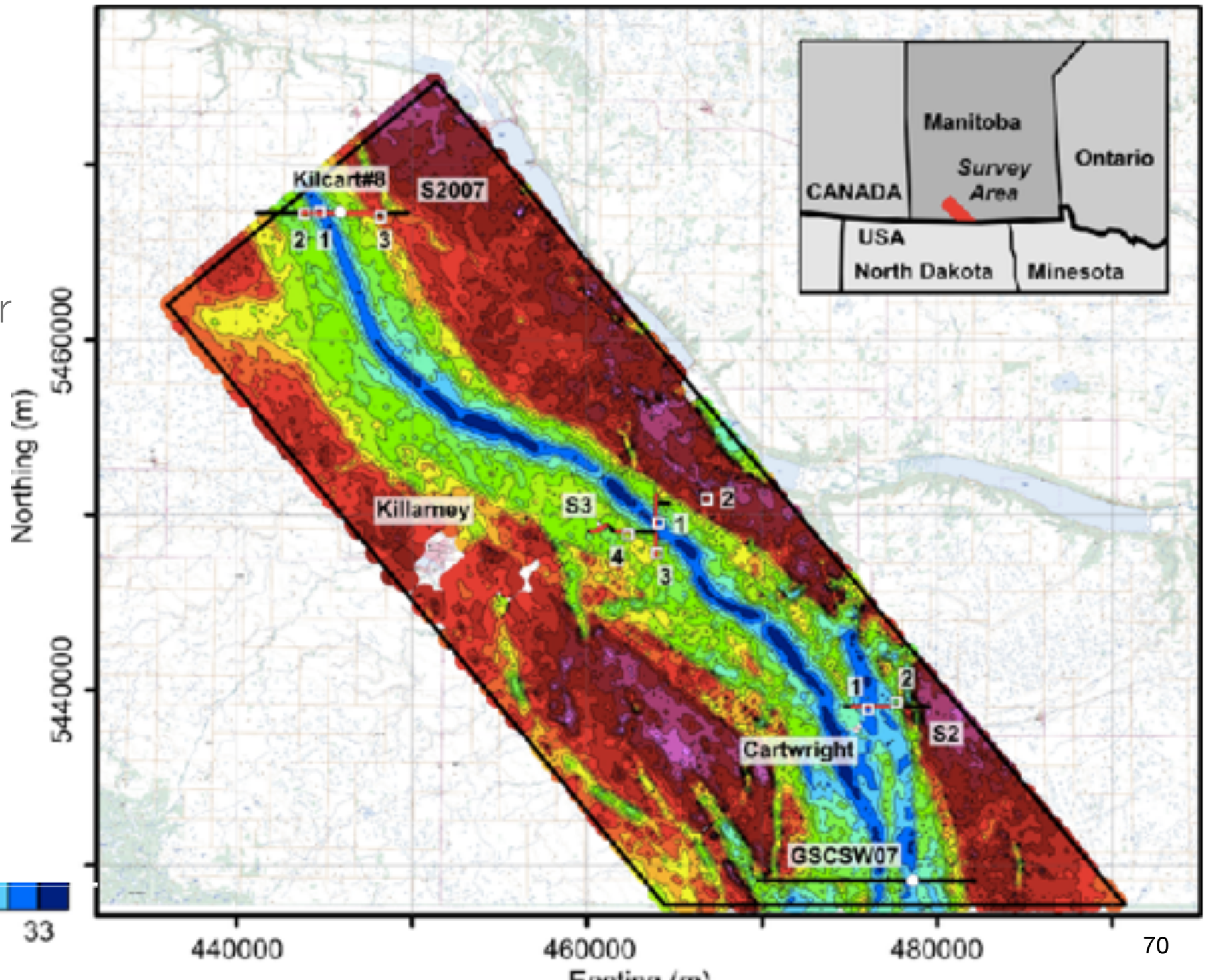
Étape 5: Traitement des données: Sismique



Étape 6: Interprétation

L'interprétation se fait à plusieurs niveaux.

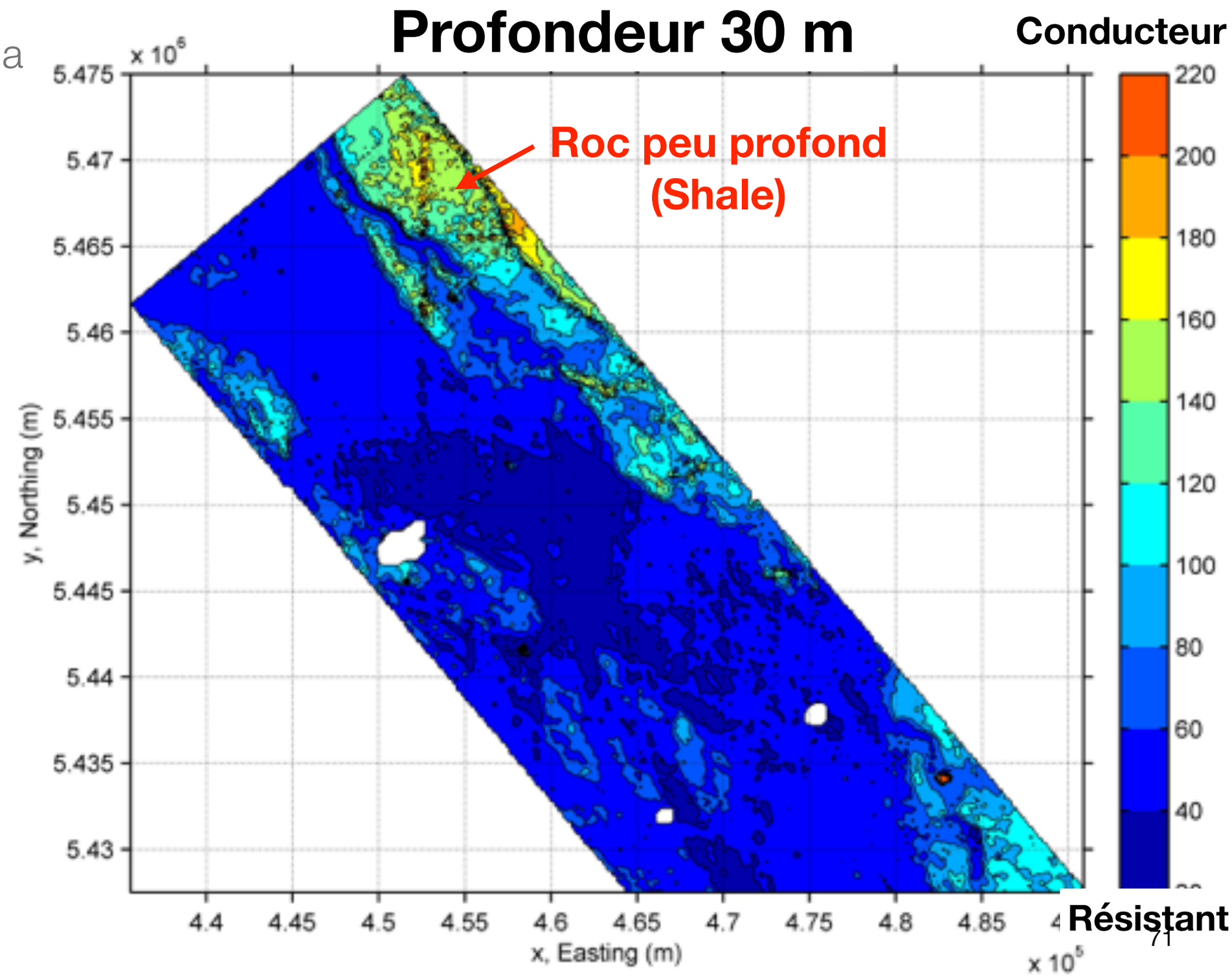
Ici, la conductivité apparente brute (non-inversée) est utilisée pour se faire une idée générale du site.



Étape 6: Interprétation

Une pseudo-inversion a été effectuée afin de retrouver les variations en profondeur.

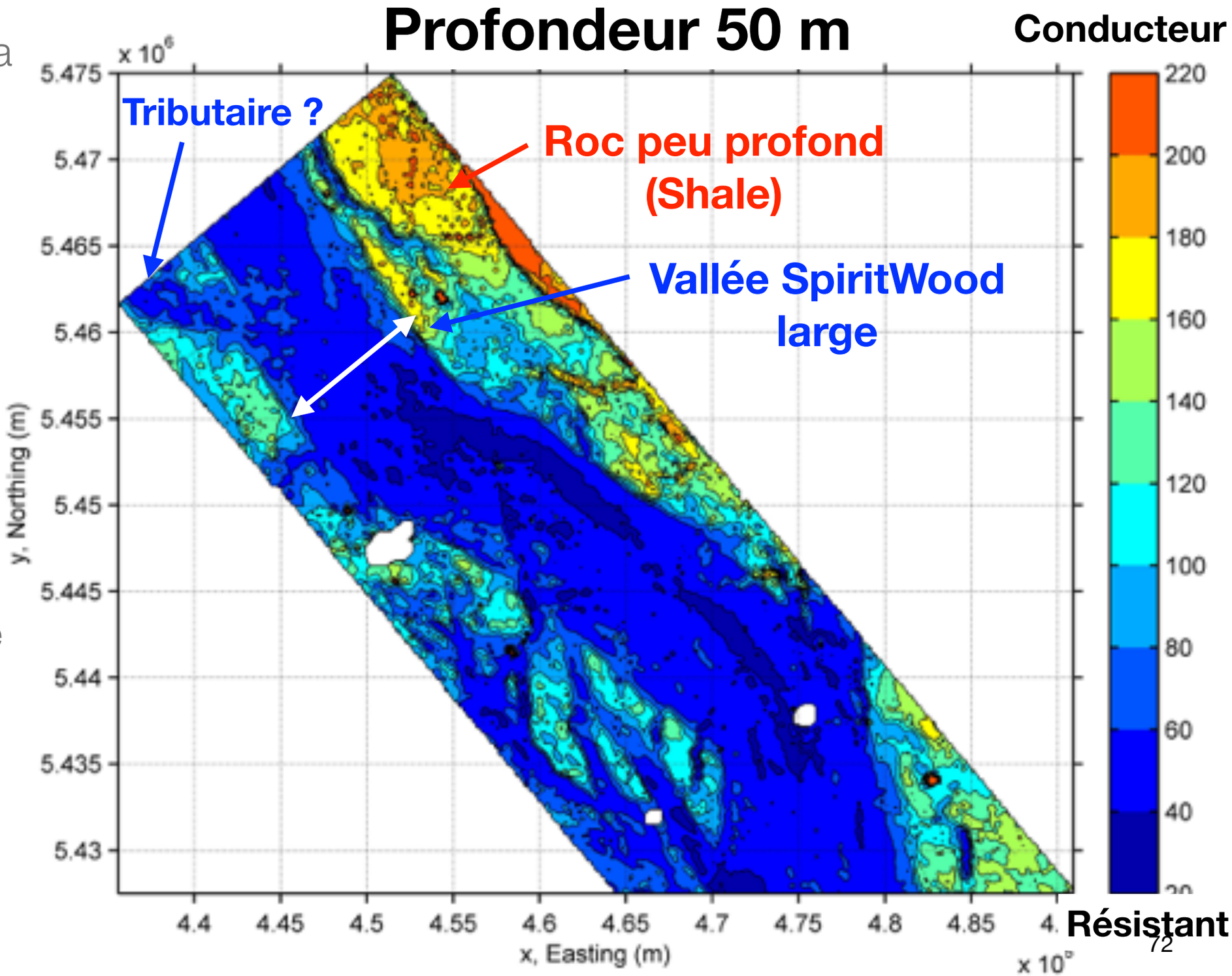
- À faible profondeur, la vallée n'est pas visible



Étape 6: Interprétation

Une pseudo-inversion a été effectuée afin de retrouver les variations en profondeur.

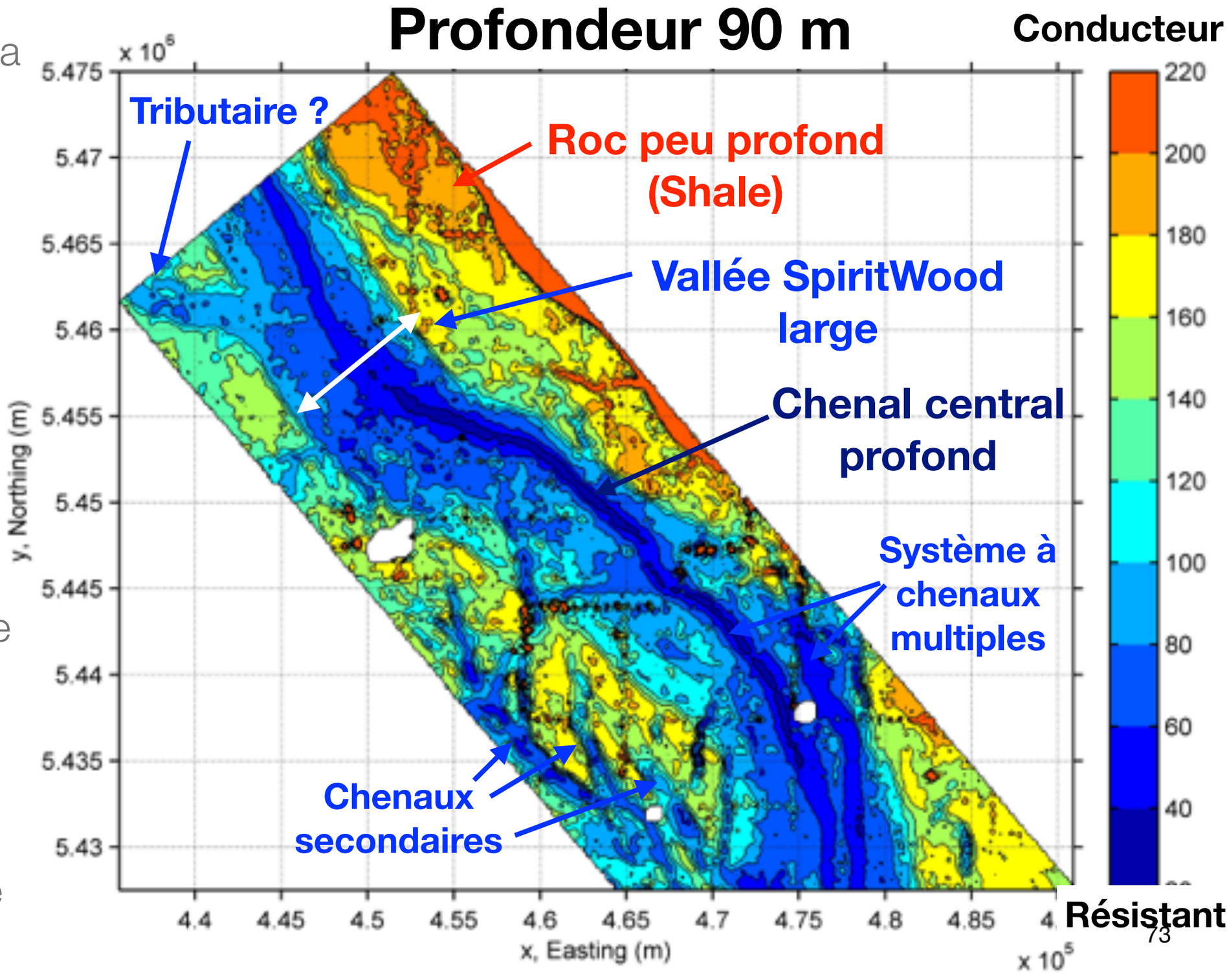
- À faible profondeur, la vallée n'est pas visible
- Une large vallée apparaît à profondeur moyenne
-



Étape 6: Interprétation

Une pseudo-inversion a été effectuée afin de retrouver les variations en profondeur.

- À faible profondeur, la vallée n'est pas visible
- Une large vallée apparaît à profondeur moyenne
- Un système complexe de fins chenaux est obtenu à une profondeur de 90 m

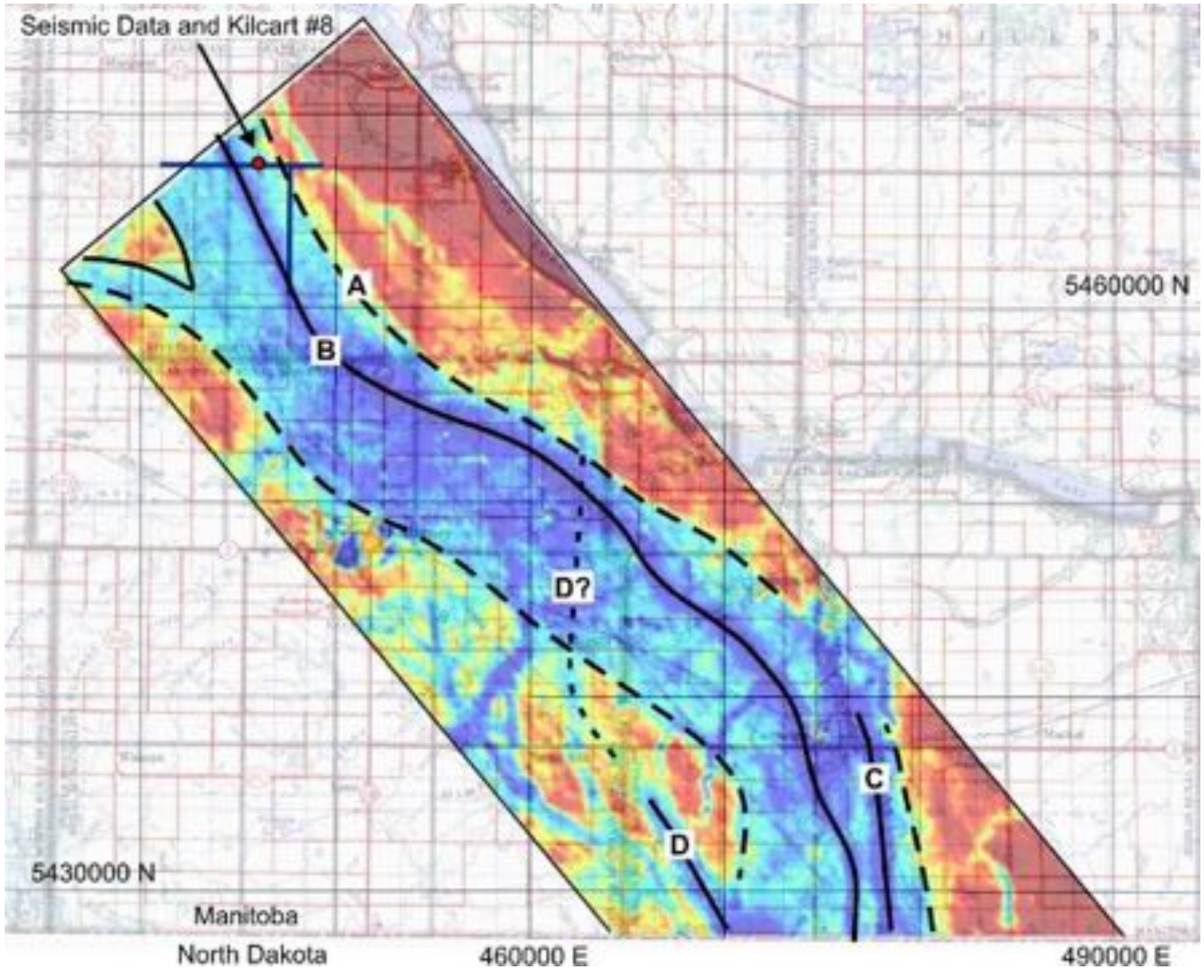


Étape 6: Interprétation

Une première interprétation sommaire des chenaux profonds est faite

La résolution des levés aéroportés n'est cependant pas assez bonne pour mieux contraindre la structure des chenaux.

Des levés de sismique réflexion et de résistivité électrique sont alors acquis et traités aux emplacements judicieux.



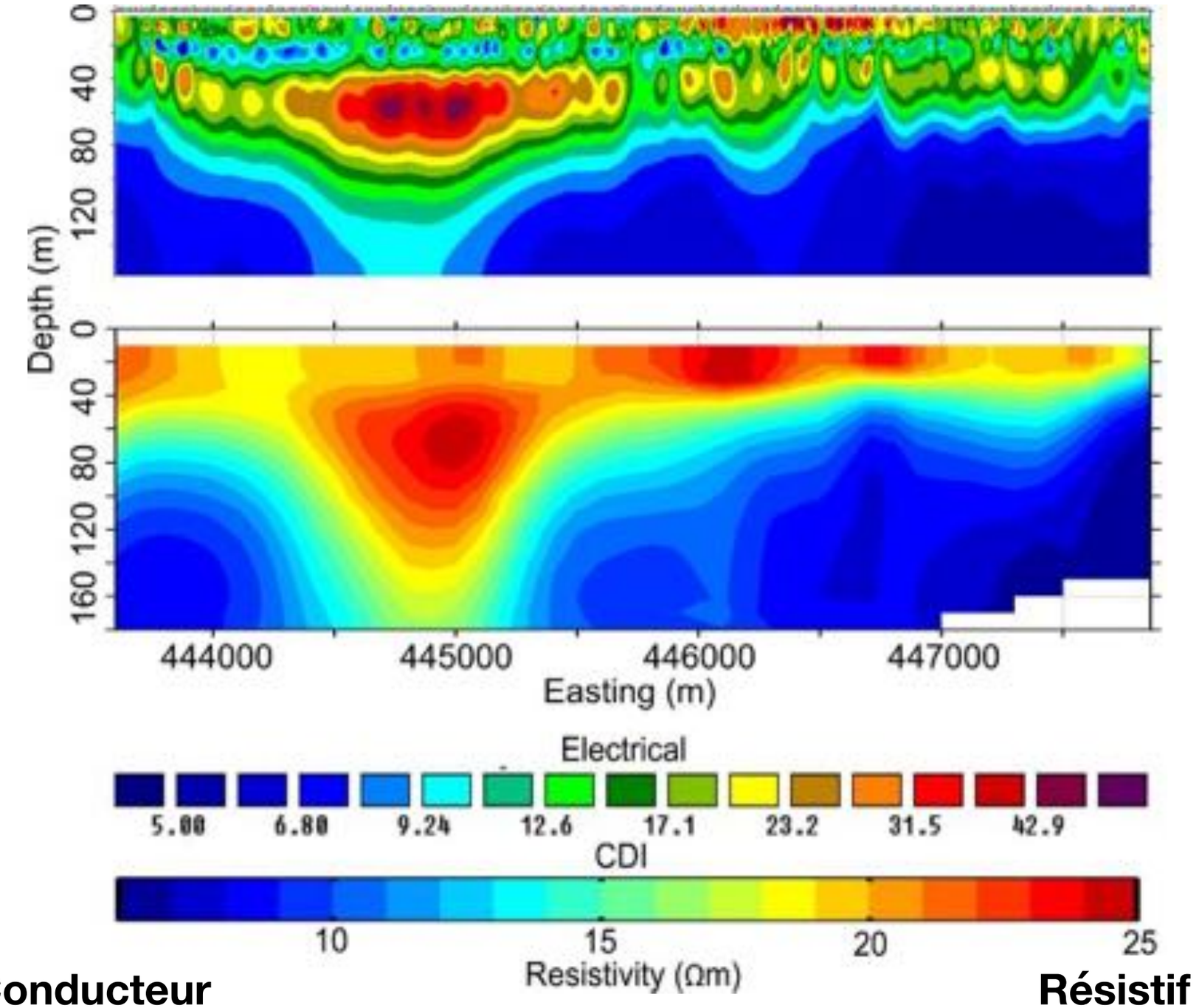
Étape 6: Interprétation

Levé Électrique

- Résolution supérieure
- Indique un corps résistif à une profondeur 40-80 m

Levé TDEM

- Corps résistif semble être plus profond
- La plage dynamique des résistivités est moindre

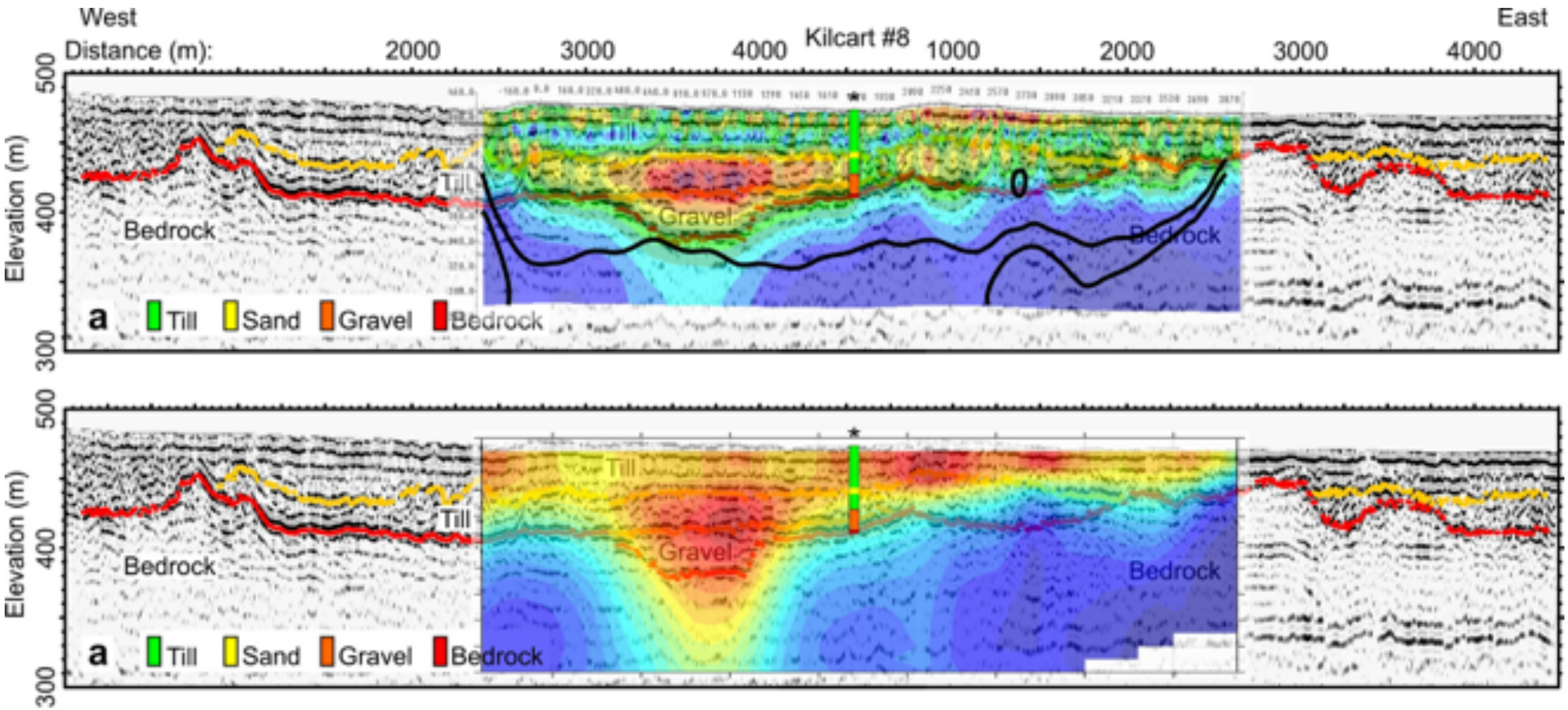


Conducteur **Résistif**

!! Couleurs inversées !!

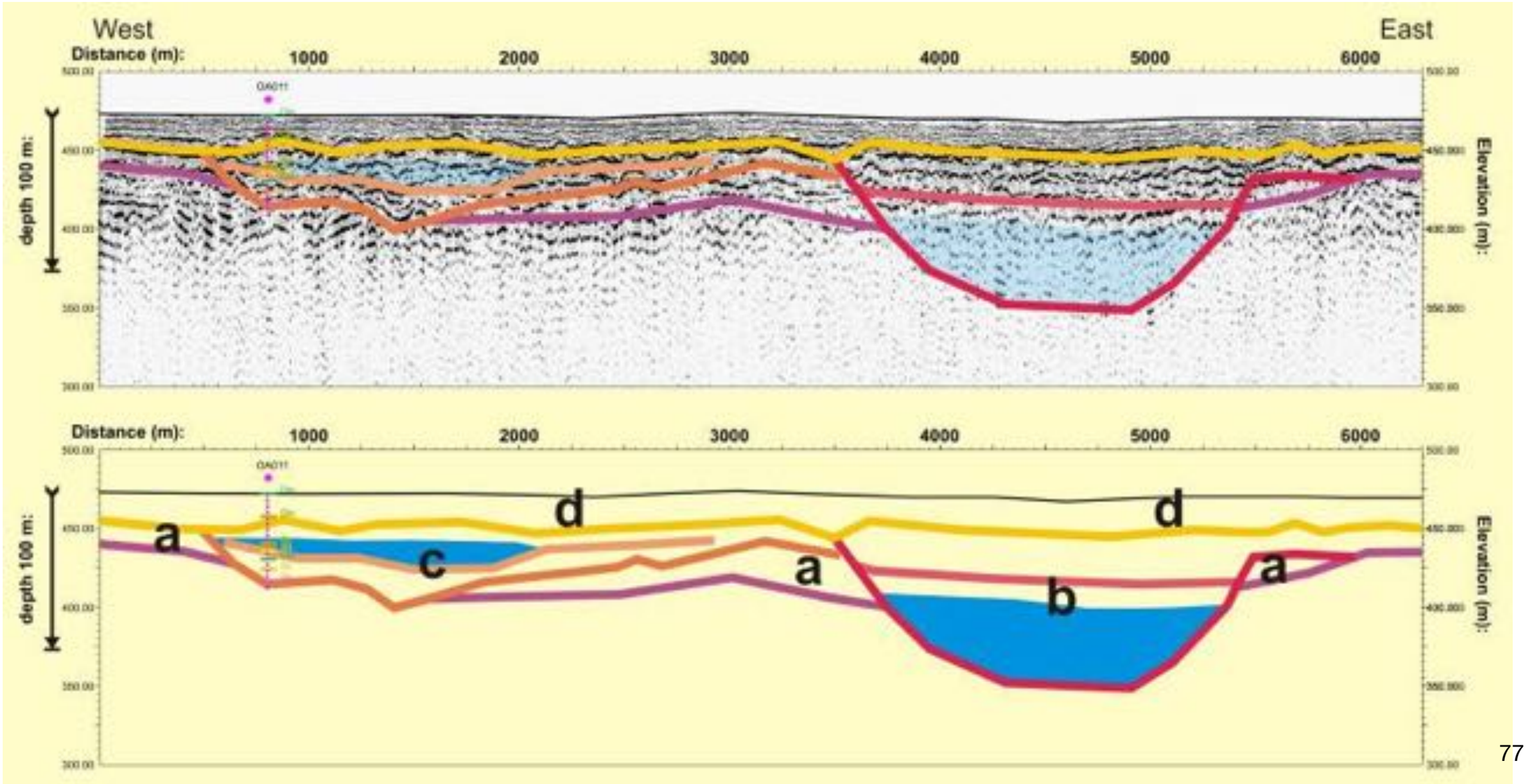
Étape 6: Interprétation

Les données sismiques, contraintes par les données aux puits, permettent finalement de mieux estimer la profondeur de la vallée enfouie.

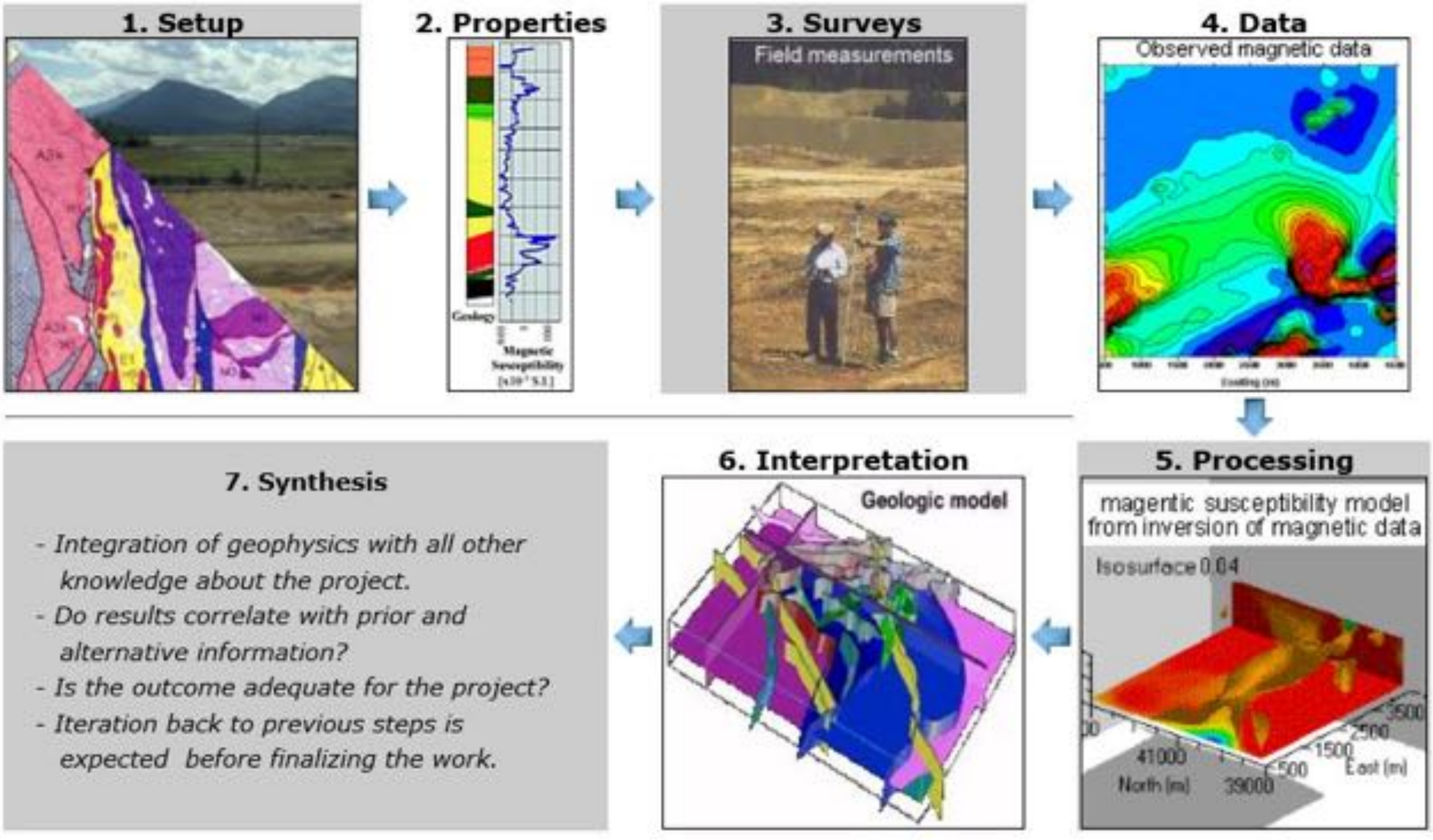


Étape 7: Synthèse

La dernière étape consiste à faire un compte-rendu des résultat afin de répondre à la question posée au départ. Ici, ceci prend la forme des coupes et de cartes délimitant les vallées enfouies et leur profondeur.



La géophysique en 7 étapes



https://gpg.geosci.xyz/content/foundations/foundations_sevensteps.html

En résumé

- Avant tout projet, il faut formuler des objectifs géologiques clairs
- Ensuite, il faut identifier si des propriétés géophysiques peuvent nous renseigner sur la question.
- Identifier les méthodes géophysiques susceptibles de mesurer l'effet des propriétés géophysiques à la bonne résolution et la bonne échelle
- Acquérir des données de qualité
- Traiter les données pour en tirer le maximum d'information. Le traitement dépend des objectifs de départ et de la méthode choisie!
- L'interprétation des données doit être faites en gardant en tête l'ambiguïté des méthodes géophysiques et en incorporant toutes les informations géologiques pertinentes.
- Le but final est un synthèse géologiques des informations répondant aux objectifs initiaux.