



LA DISPERSION DE L'OR DÉTRITIQUE

ET SES AVANCÉES TECHNOLOGIQUES

L'innovation comme motivation

IOS Services Géoscientifiques inc



Que suis-je ?

IOS

L'innovation comme motivation



✓ 1992

✓ Exploration Diabior (Virginia)

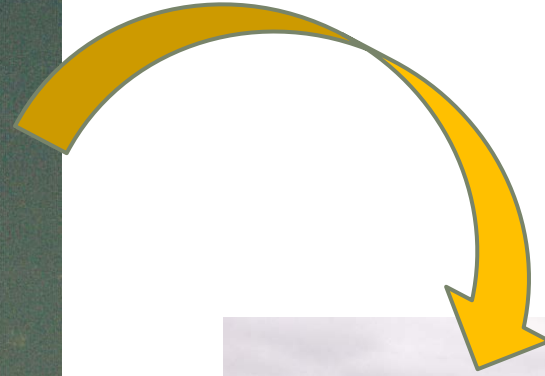
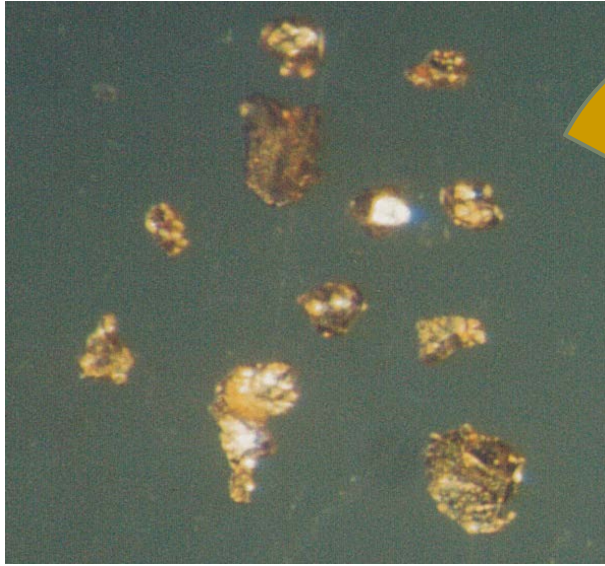
✓ Levé de till

✓ LG-2

IOS

L'innovation comme motivation

DE CECI...



À CELÀ

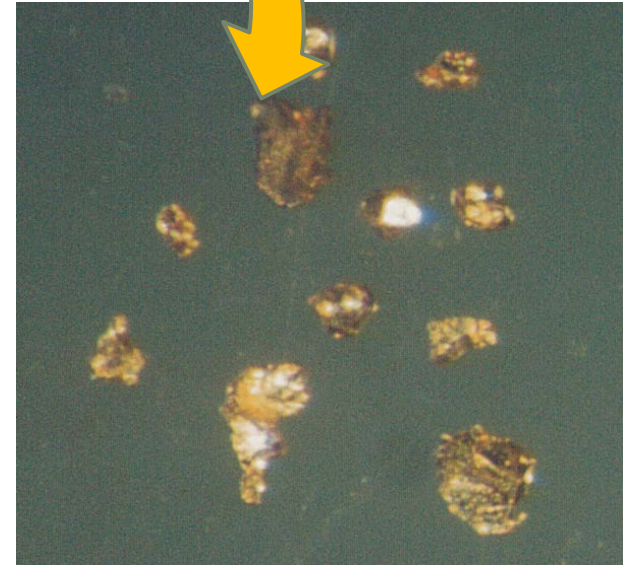
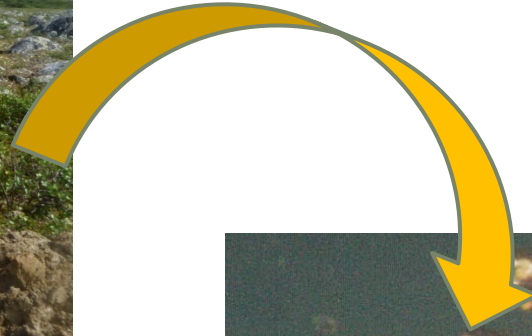


IOS

L'innovation comme motivation



DE CELÀ...



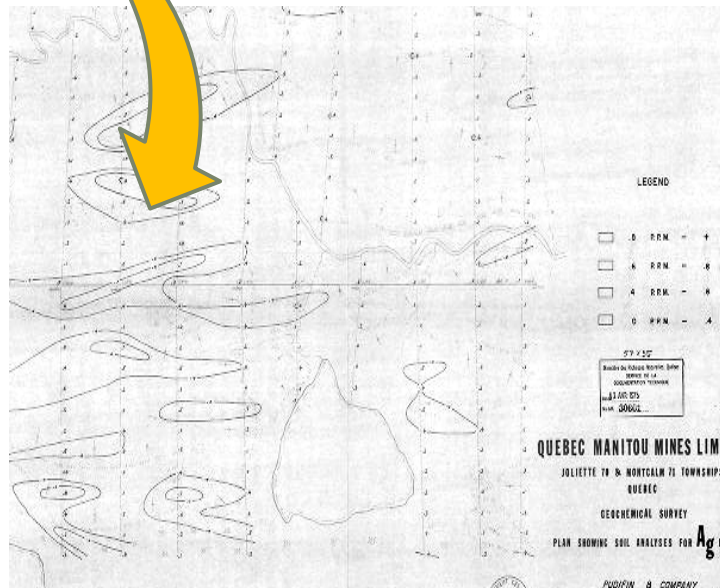
À CECI

DEPUIS 40 ANS...

IOS

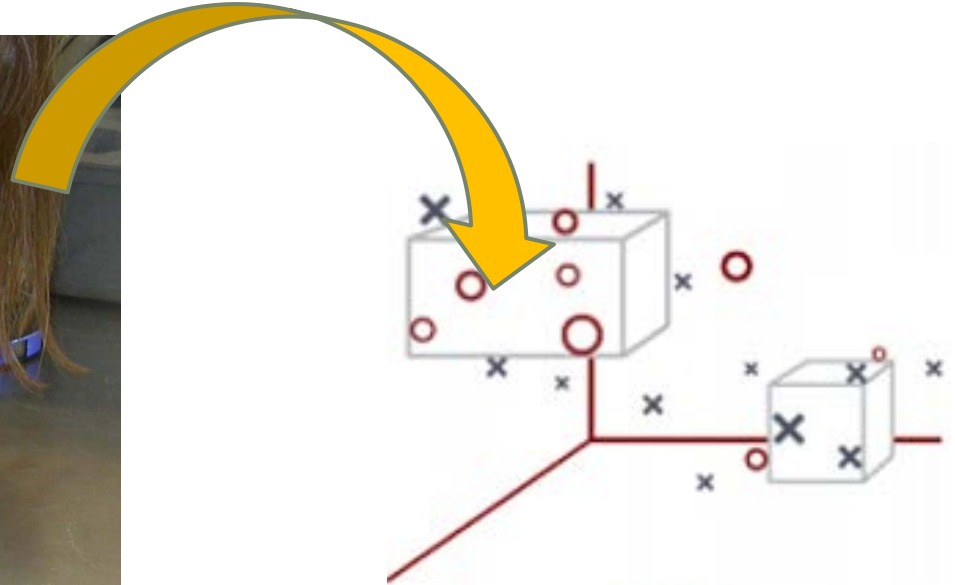
L'innovation comme motivation

Souvenez-vous il y a 40 ans...



L'analyse chimique était faite par un chimiste...

40 ans plus tard...



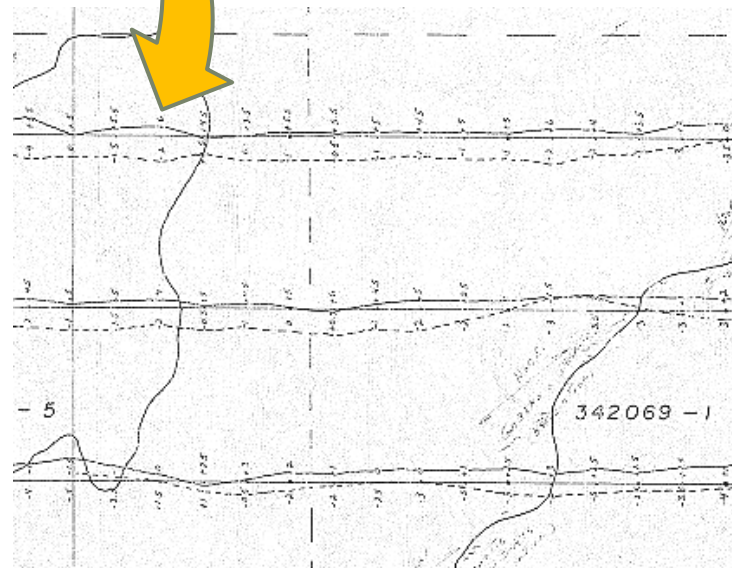
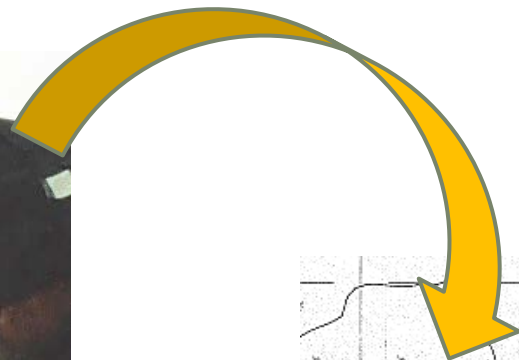
HyperCube
Complex Event Intelligence

...40 éléments sur le terrain

IOS

**Pourtant l'absorption atomique
fonctionnait bien...**

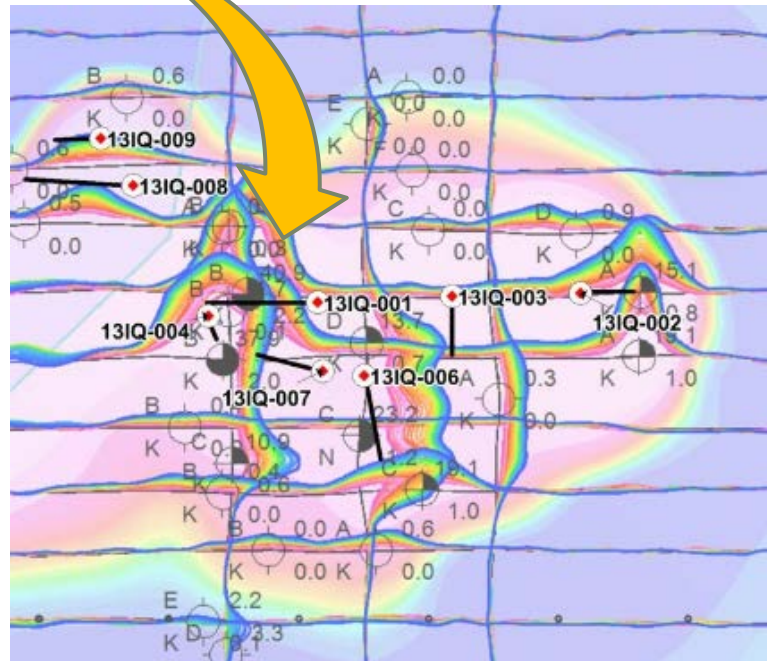
Il y avait aussi...



Il y a 40 ans...

IOS

Plus maintenant...



Sauf quelques nostalgiques

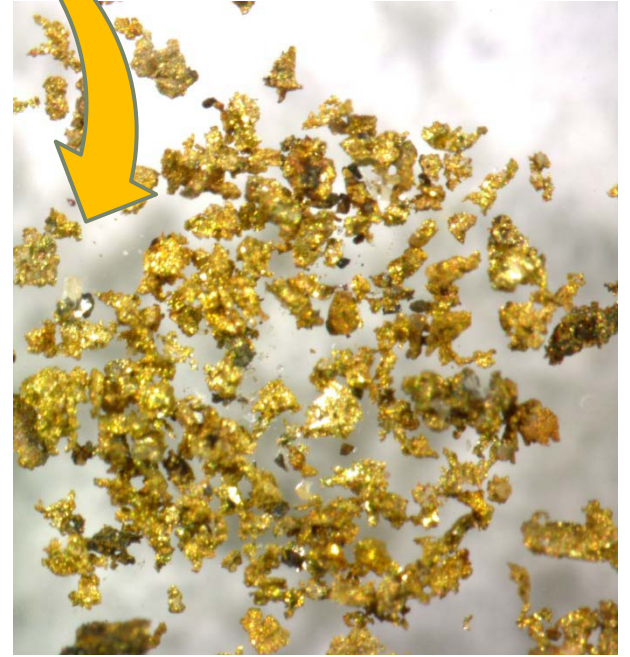
IOS

Pourtant le VLF fonctionnait bien...

IOS

L'innovation comme motivation

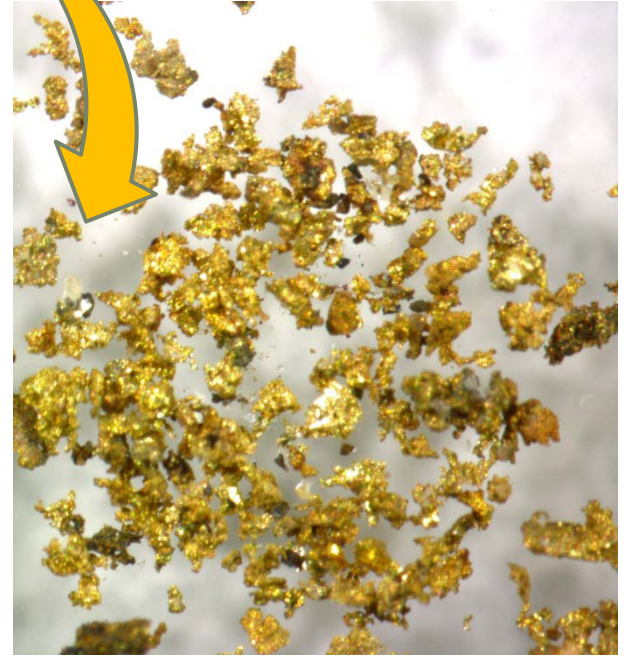
Il y a quarante ans...



IOS

L'innovation comme motivation

Et quarante ans plus tard...



IOS

L'innovation comme motivation

Pourquoi changerait-on?

Réponses:

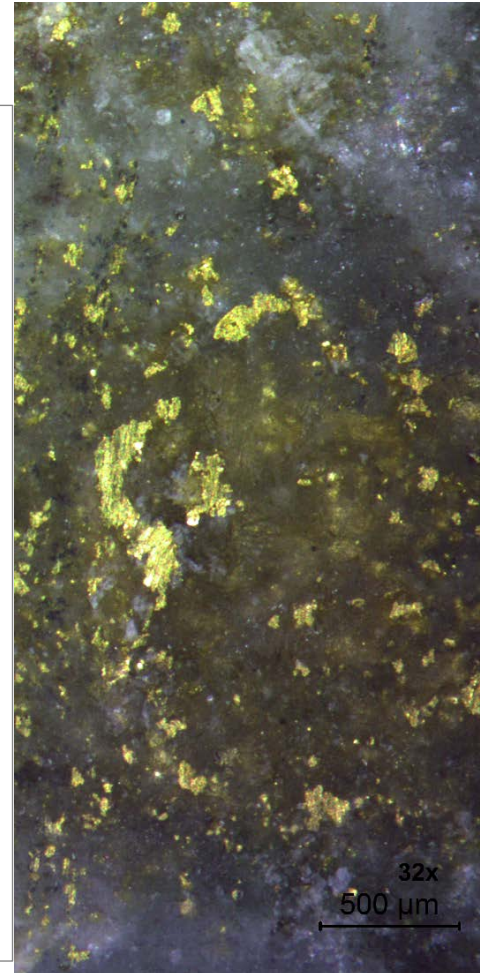
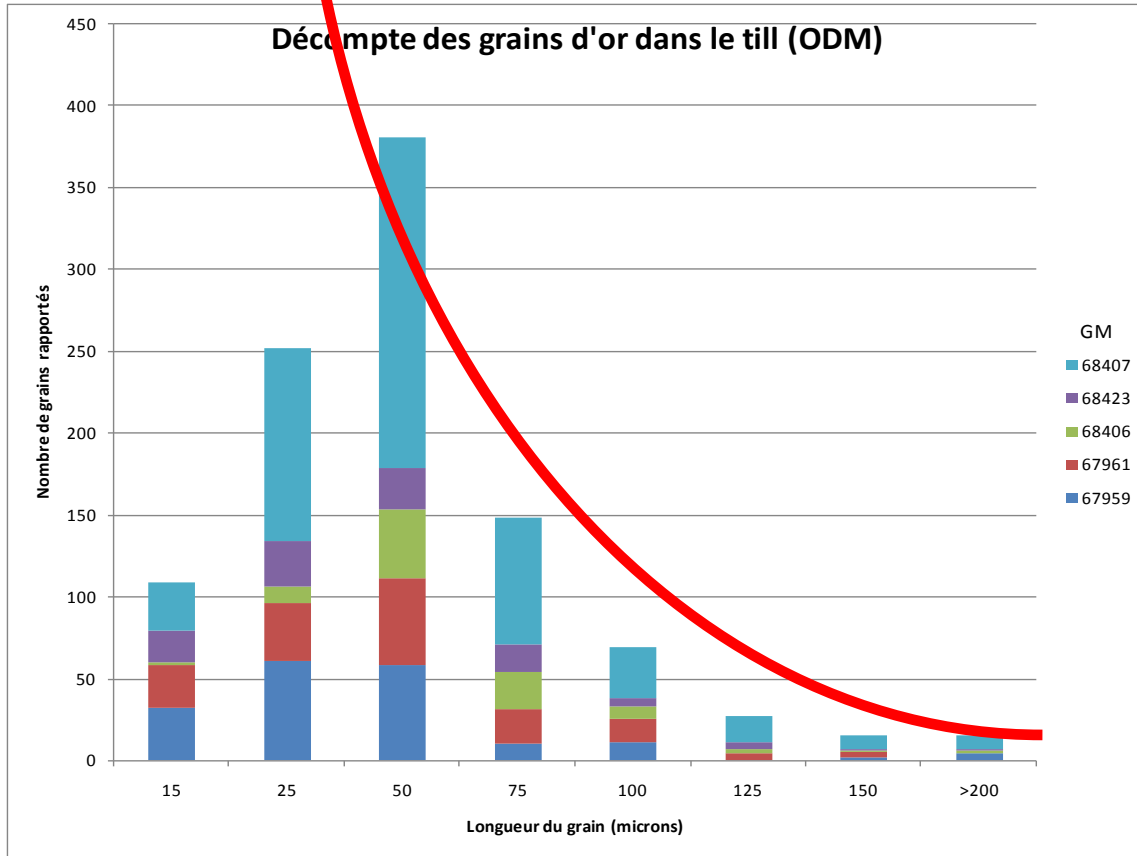
- Pour améliorer la fiabilité
- Pour améliorer l'efficacité
- Pour améliorer la signifiante de l'information extraite



FIABILITÉ : Récupération

- **Méthodes artisanales**
 - Non paramétrées
- **Sensible à l'intervention humaine**
 - « *Super-panner...* »
- **Récupération 40-70 % → Instable**
 - Le matériel traité est variable
 - Récupération chute avec la rareté : <10 grains
 - La récupération chute avec la petitesse : <40µm

EFFONDREMENT DE LA RÉCUPÉRATION À MOINS DE 50 MICRONS



SOLUTIONS : Méthode paramétrée #1

Robuste à l'intervention humaine

Ex. : Centrifugeuse Knelson/Falcon

- Concentrés de volume constant 30 ou 60 grammes
- Efficace pour l'analyse chimique des concentrés

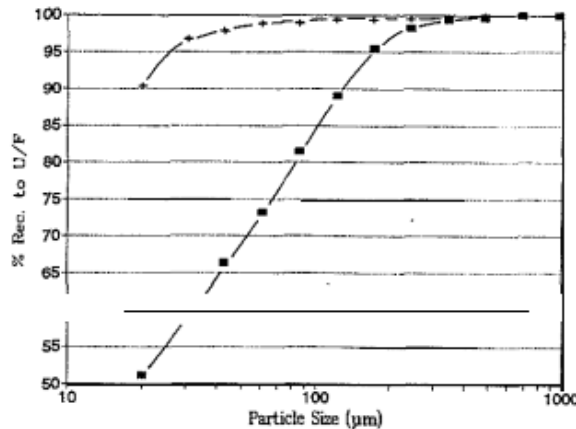


Fig 3 — Combined performance curve of the primary and secondary cyclones at Casa Berardi (squares: are; crosses: total gold).



SOLUTION : Méthode paramétrée #2

- Ex. : Lit fluidisé
 - Concentrés de 0,5 gramme
 - Récupération 90 % des grains $> 40\mu\text{m}$
 - Récupération 95-99 % si en cascade
 - **Technologie exclusive**

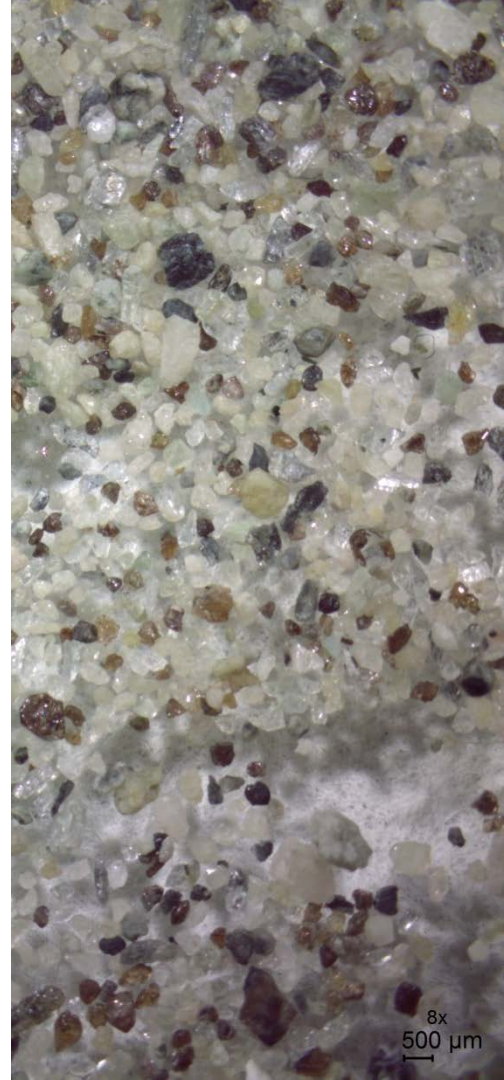


IOS

L'innovation comme motivation

SOLUTION : QCQA

- **On ne peut parler de qualité sans la mesurer!**
- **« STANDARD »**
 - Matériaux de contrôle certifiés
 - En cours de développement (IOS-UQAC-USGS)
- **TRACEURS “Spikes” (biaisés, car plus grossier)**
 - Zirconia, laiton, limaille, plombs, etc.
- **BILANS MÉTALLURGIQUES (complexe!)**
 - 1 échantillon sur 10!
- **PLACÉBO (« BLANCS »)**
 - Biaisés, car n’incluent pas toute la chaîne!
- **DUPLICATA : Effet pépite!**

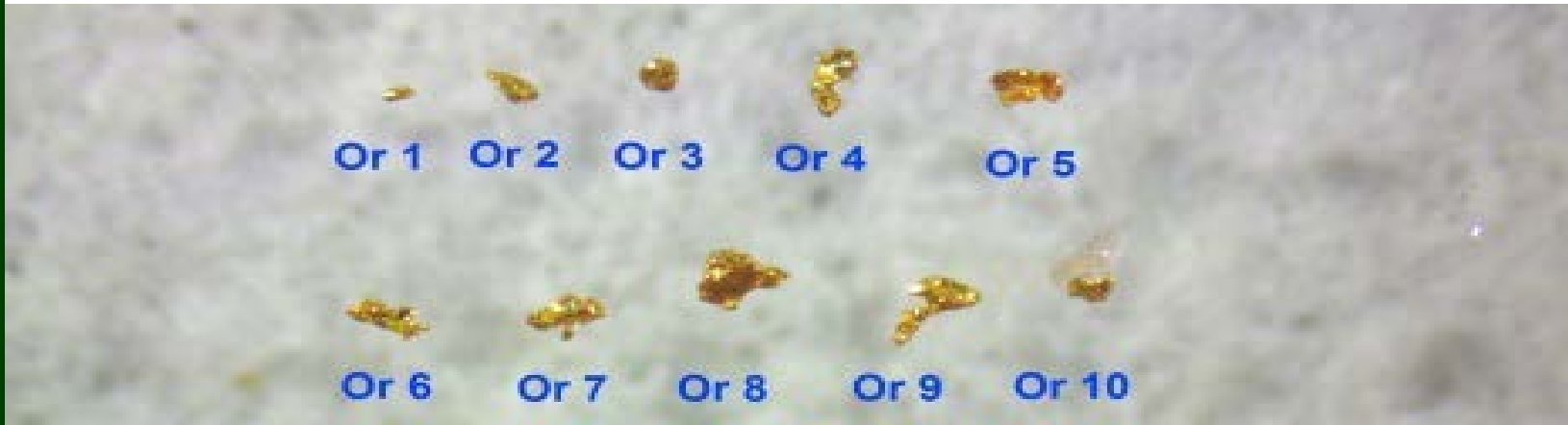


8x
500 µm

PROBLÈME DU COMPTAGE

➤ Taille minimale visible

- Oeil (30 cm) : 100 microns (2 cones)
- Loupe 10x: 40 microns (5 pixels)
- Stéréomicroscope 16x: 20 microns (10 pixels)
- Apochromatique 100x: 5 microns (10 pixels)
- Microscope électronique: < 1 micron



EXEMPLE RÉEL: Déficience du décompte

	Mlle A (17 ans)	Mlle B (13 ans)
➤ Microscope	Leica MS-5	Leica M205-C
➤ #1	11 grains	19 grains
➤ #2	2 grains	3 grains
➤ #3	0 grain	1 grain
➤ #4	6 grains	8 grains
➤ #5	4 grains	6 grains
➤ #6	1 grain	5 grains
➤ #7	3 grains	8 grains
➤ #8	4 grains	5 grains
➤ #9	4 grains	6 grains
➤ Total	35 grains	61 grains

**57% des grains seulement ont été vus
au stéréomicroscope conventionnel!**



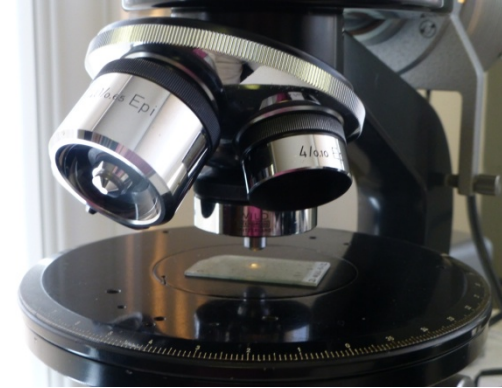
Ce que l'on voit réellement: **250 microns**



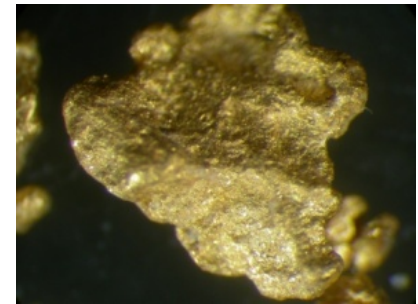
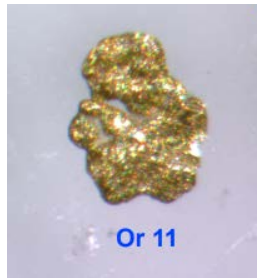
Leica MS-5: 16 X



Leica-M205: 64 X



Wild-M21: 200-400 X



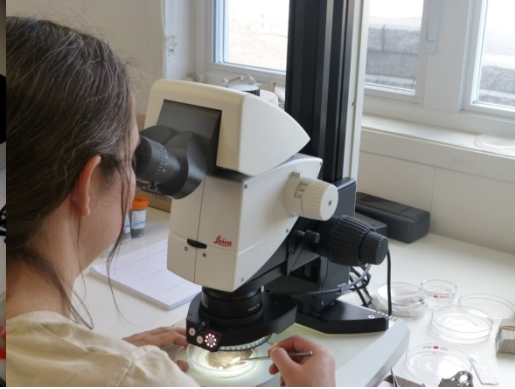
IOS

L'innovation comme motivation

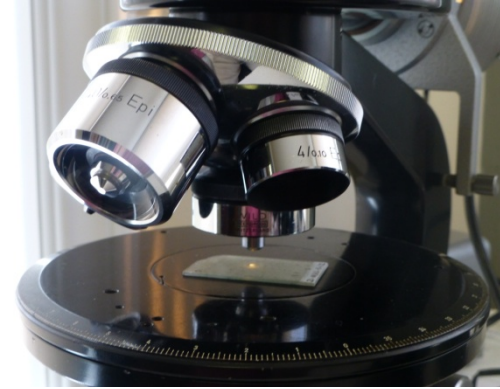
Ce que l'on voit réellement: **30 microns**



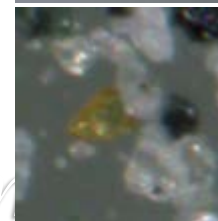
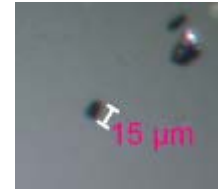
Leica MS-5: 16 X



Leica-M205: 100 X

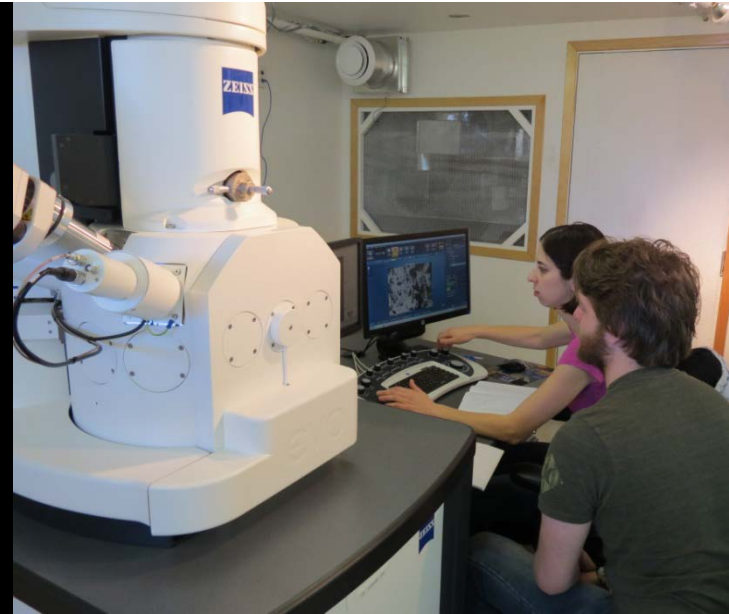
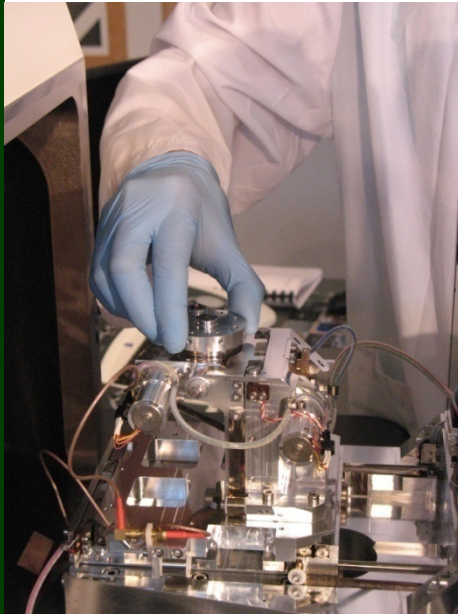


Wild-M21: 200-400 X



SOLUTION AU COMPTAGE #1

- **Microscope électronique automatisé**
 - **Logiciel de détection des phases lourdes**
 - **Analyse de mosaïque BSE**
 - **Ex: Logiciel Aztec Feature (Oxford Instrument)**



Logiciel Aztec Feature

5-7 minutes par échantillon, 10 microns!

The screenshot displays the Aztec Feature software interface. The main window shows a BSE image of a sample with three particles labeled Particule1, Particule2, and Particule3. A scale bar indicates 10mm. The interface includes a menu bar (Fichier, Afficher, Techniques, Outils, Aide) and a toolbar with buttons for 'Particule', 'Détecte Particules', 'Acquérir Spectres', 'Configurer classification', 'Exécuter', and 'Revoir'. A 'Nouvelles' section contains buttons for 'Configuration du microscope', 'Montage', and 'Rapport des Résultats'. The 'Particules' panel shows a table of detected particles and a 'Statistiques' section. The 'Ajustement de détection' panel includes a histogram and a threshold slider.

Particules Données montées 2 3 / 3

Résumé Données des particules Filtre de classification : Aucun

Détecter les particules Morphologie Chimie Catégorie

Id	Surf... (µm²)	Rapport hauteur/largeur	Largeur (µm)	Direction (°)	ECD (µm)	Longueur (µm)	Périmètre (µm)	Forme
1	460,41	1,60	22,54	30,94	24,21	36,12	85,06	1,25
2	7 251,51	1,30	112,78	53,44	96,09	146,19	458,30	2,30
3	537,15	1,52	35,04	144,84	26,15	53,28	141,77	2,98

Statistiques

	Min	Max	Mean	Std Dev
Surf...	460,41	7 251,51	2 749,69	3 487,26
Rapport hauteur/largeur	1,60	1,80	1,47	0,14
Largeur (µm)	22,54	112,78	56,79	43,73
Direction (°)	30,94	144,84	76,41	53,96
ECD (µm)	24,21	96,09	48,62	36,63
Longueur (µm)	36,12	146,19	78,53	52,97
Périmètre (µm)	85,06	458,30	228,38	179,89
Forme	1,25	2,98	2,18	0,78

Ajustement de détection

Filtres en niveaux de gris Seuils Filtres d'image binaire

Créer Fusionner les seuils

32250 32464

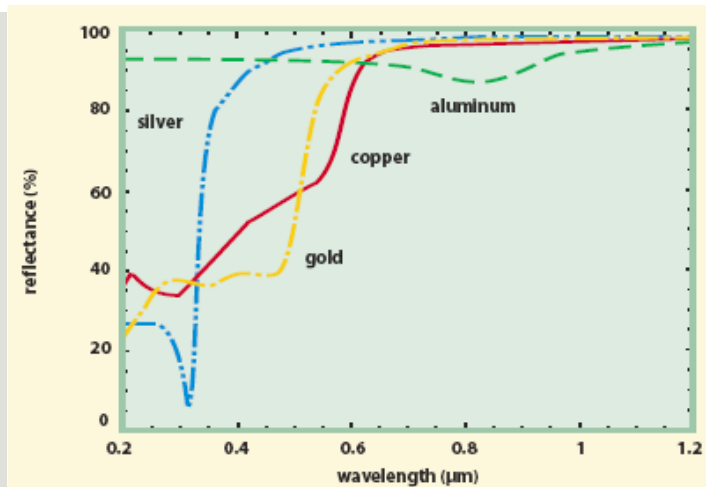
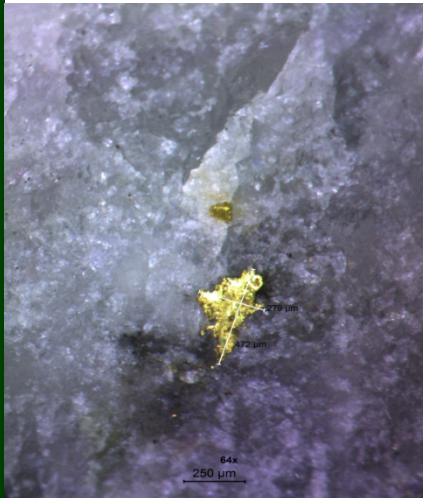
Mag: 85x HT: 20.0 kV WD: 11.31 mm Taux en entrée: 27400 cps Taux de comptage: 21530 cps Temps mort: 20% Temps de mise en forme: 4

IOS

SOLUTION AU COMPTAGE #2

➤ Analyse d'image

- Partenariat IOS-UQAC-FRQNT : 3 ans, \$450,000
- Vise la reconnaissance des grains par leur signature spectrale caractéristique
- Automatisation du comptage
- Rapidité de comptage → réduction du facteur de concentration



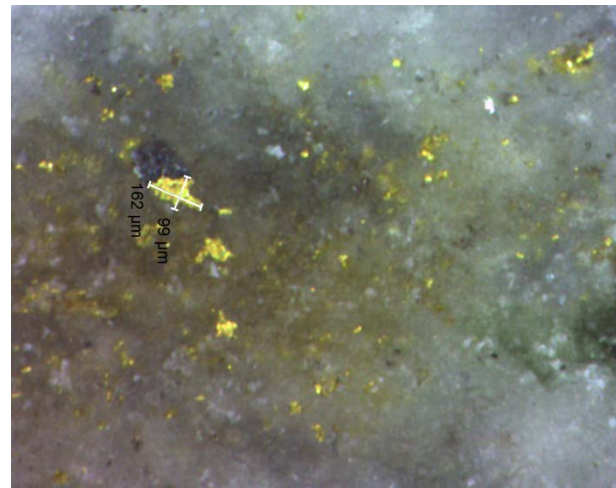
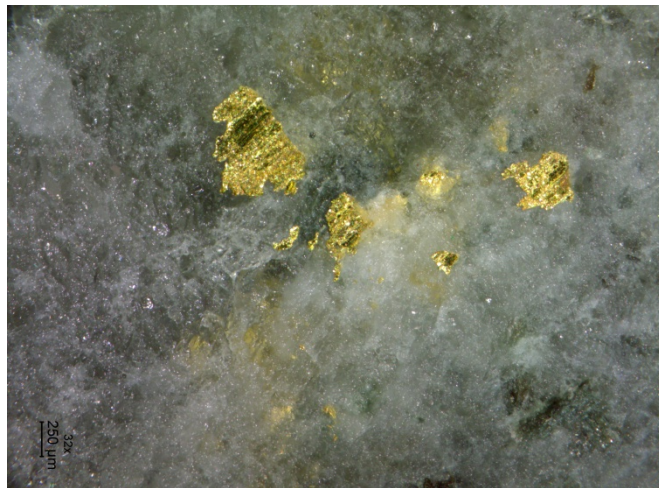
AMÉLIORATION DE L'EFFICACITÉ

- Réduction de coûts des levés
 - Échantillonnage + analyse
 - 50-90% 50-10%
 - 100-600\$ 70-100\$
 - Stratégie: Réduction de la taille des échantillons
 - 10 kg → 1 kg (...forage...)
 - Réduction de la granulométrie
 - Fonction hypercubique (n^4)
 - De 40 à 20 microns → >10x grains!



OR : Dominance des petits grains

> 40 Microns : Méthode conventionnelle



< 30 Microns : Défi technologique

> 95 % des grains < 50 µm

< 1 % des grains > 100 µm

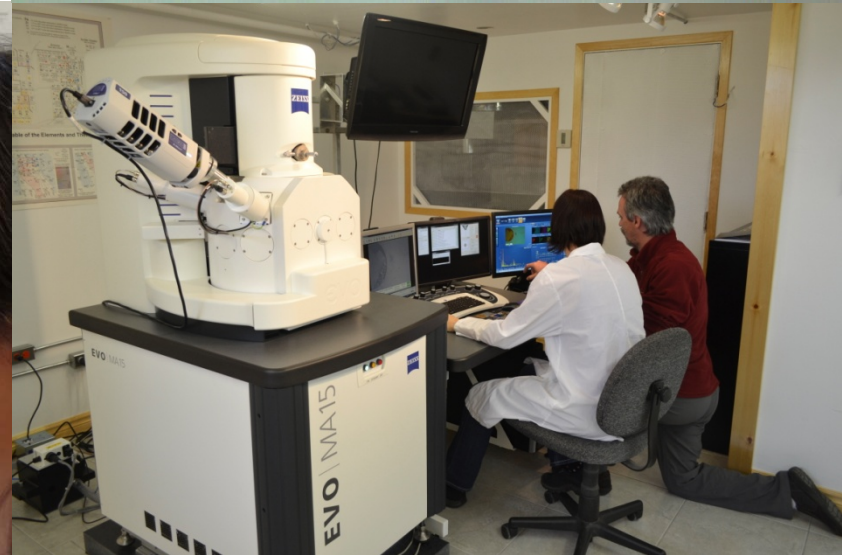
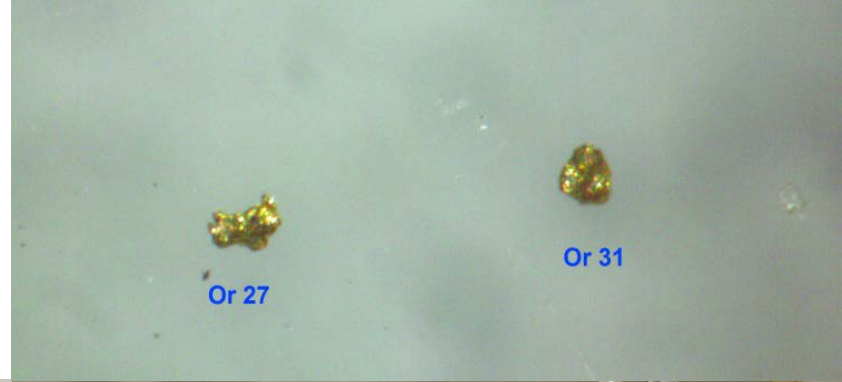
SOLUTIONS: Concentration de l'or fin!

- **Lit fluidisé : Efficace à 20 μm ?**
- **Centrifugeuse Knelson 50-100 G : efficace à 20 μm**
- **Centrifugeuse à l'azote liquide : 5 μm ?**
- **Hydroséparateur (CNT, technologie russe) : 30 μm**
- **Digestion nitrique**



SOLUTIONS

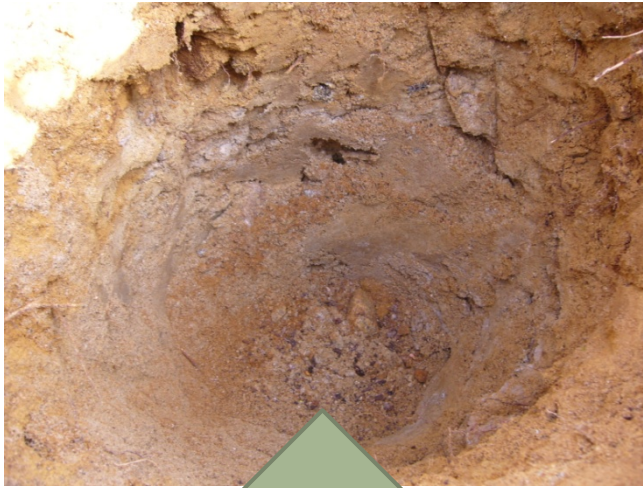
- Nécessite les techniques d'imagerie adéquates



IOS

L'innovation comme motivation

PROBLÈME DE L'ÉLUTRIATION NATURELLE



TILL DE FUSION
• SABLONNEUX
• ÉLUTRIATION
• OXYDÉ

TILL DE FOND
• ARGILEUX
• IMPERMÉABLE
• NON-OXYDÉ



AMÉLIORER LA SIGNIFIANCE

Actuellement : >250 \$ l'échantillon pour avoir un compte approximatif des grains d'or!

Comment extraire plus d'information?

Or 24

Or 22

Or 23

IOS

L'innovation comme motivation

#1: FORAGE SONIC: Solution ultime pour le nord de l'Abitibi



Forage RC: Garbage-in garbage-out!

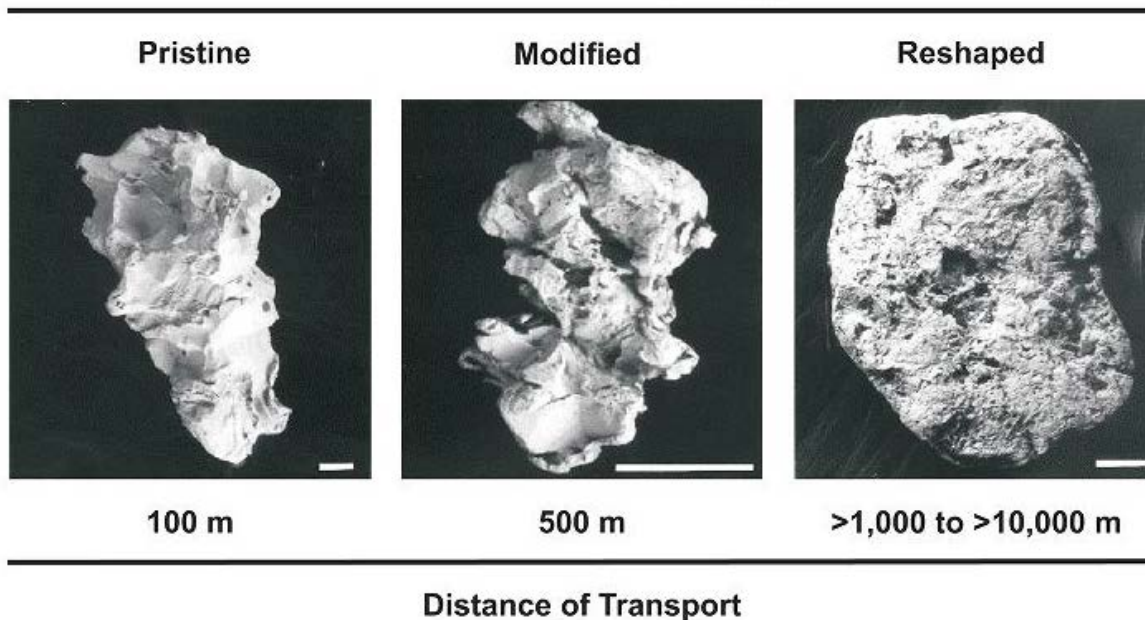
IOS

L'innovation comme motivation

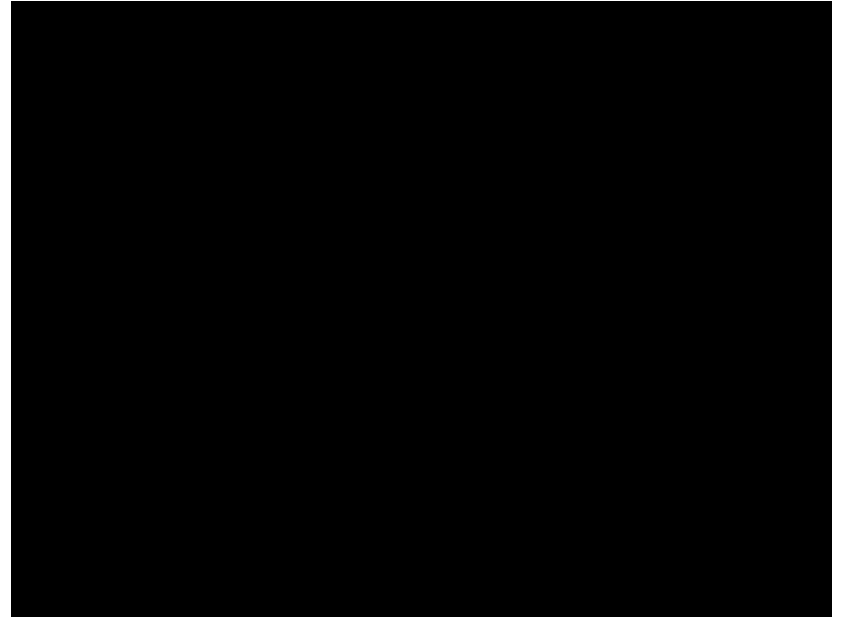
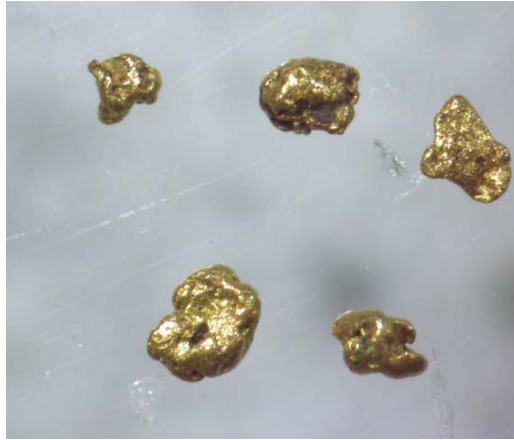
#2 TEXTURES DES GRAINS

- Publication phare de Di Labio (1991)
- Estimation de l'effet du transport glaciaire... **Depuis sa libération...**
- **QUALITATIF...** Dépend du jugement du minéralogiste

Till Gold Grain Morphology



Quantification de la morphologie des grains!



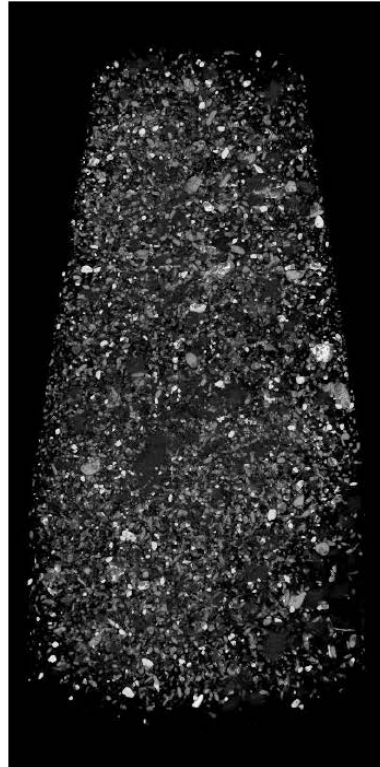
Distance de transport est une fonction de la dimension fractale du grain et de l'indice de rugosité!

$$P_{[i,\epsilon]} \propto \epsilon^{-\alpha_i} \therefore \alpha_i \propto \frac{\log P_{[i,\epsilon]}}{\log \epsilon^{-1}}$$

Presque prêt à la commercialisation

XRM: Use Case Gold Exploration

Native alluvial gold
Glacial till
Gravity concentrate
Volume: 5x14x5 mm
Resolution: 6.2 um
Acquisition time: 6 hrs
Particles: ~300,000
Size range: 25-400 um
Gold particles: 5
Interest: particle wear

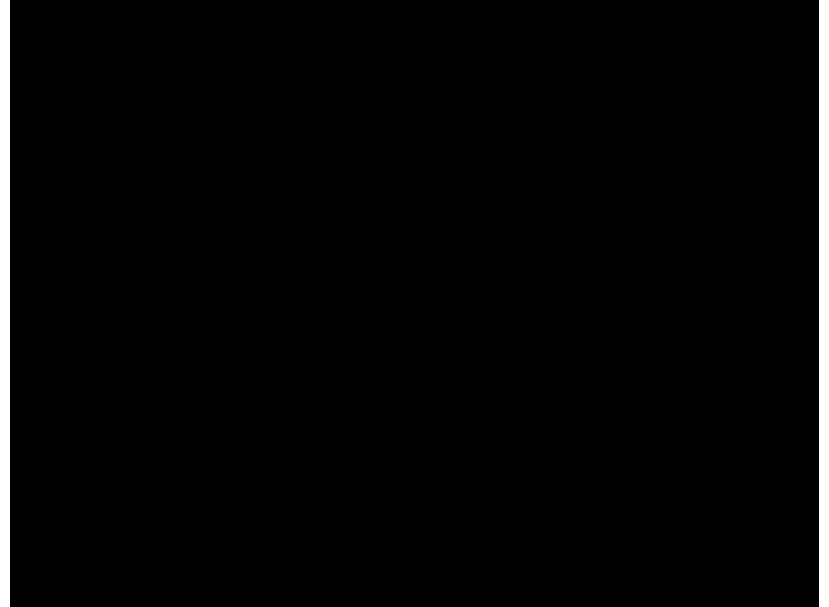


Microtomographie des rayons X

- IOS-Zeiss-U.Laval?
- Mesure simultanée de tous les grains
 - Forme, rugosité, *etc.*
 - Volume (poids)

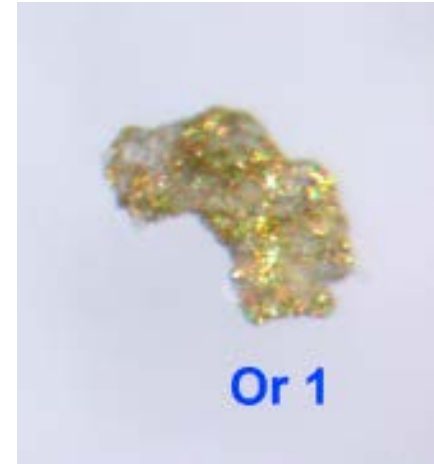
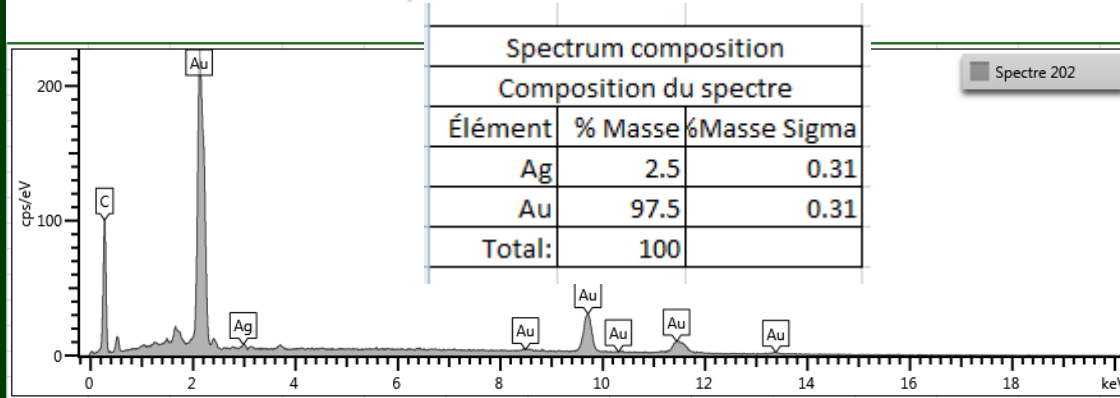
ALTERNATIVES

- ZeeScan
- Microscopie confocale
- MEB stéréoscopique
- « Spindle stage »
- « Prism rotator »



#3: CARACTÉRISATION CHIMIQUE DE L'OR

- Chaire Agnico-Eagle et U. Laval
- Analyse chimique des éléments traces et analyse isotopique des grains d'or de différents dépôts dans le but de caractériser leur signature ou environnement métallogénique
- Évolution de la signature chimique selon la corrosion dans l'environnement secondaire « finesse de l'or »
- EDS-SDD, Microsonde ou LA-ICP-MS



#4: “ELECTRIC PULSE DESAGREGATOR”

- “Selfrag” ou le “EPD-CNT”
- Désagrège les roches par effet piezzo-électrique.
- Libération des minéraux sans briser leur forme naturelle
- Études des minéraux dans les gîtes



#5: MINÉRAUX ACCOMPAGNATEURS DES GITES D'OR

- **Nombreux groupes de travail**
 - **IOS, U.Laval-Agnico, CGC, ODM, etc.**
- **Minéral accompagnateur :**
 - **Distinctif et séparable**
 - **Résistant**
 - **Abondant (plus que l'or!)**
 - **Spécifique et discriminant**
 - **Typé pour les environnements métallogéniques**
- **250-1000µm , donc traitement différent!**



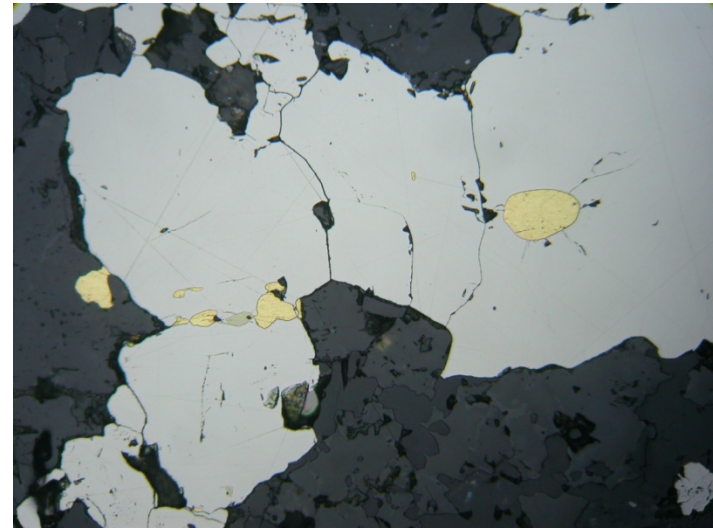
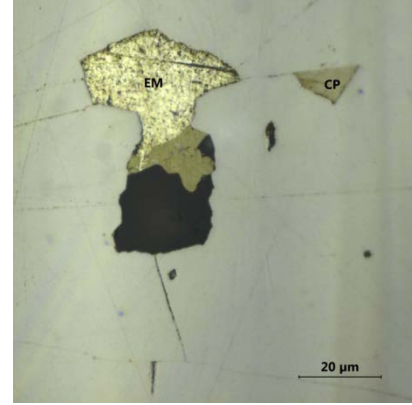
DUMORTIÉRITE

Diagnostique pour les gîtes d'or de l'Abitibi



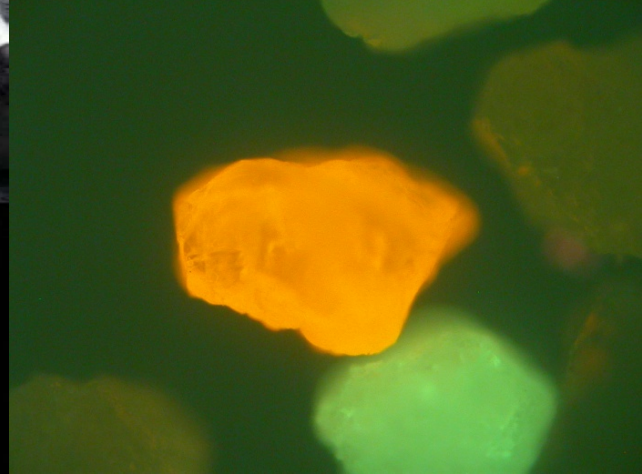
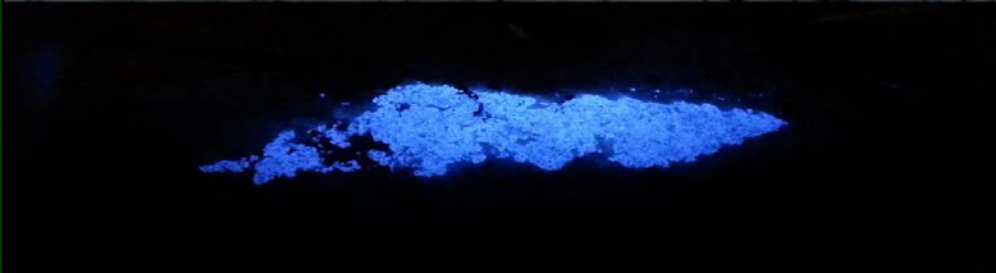
SULFURES ET SULFOSELS

- Pyrite (texture et signature chimique)
- Chalcopyrite et autres sulfures Cu-Zn-Pb
- Acanthite, argentite (Ag_2S), *etc.*
- Molybdénite, Powellite ($CaMoO_4$), Wulfénite ($PbMoO_4$)
- Arsénopyrite, Lollingite ($FeAs_2$), Scorodite, ($FeAsO_4 \cdot 2H_2O$)
- Arséniure et antimoniure
 - Stibnite, Tétrahédrite, *etc.*
- Bismuthure et tellurures
 - Bismutite, *etc.*
- Minéraux des platinoïdes



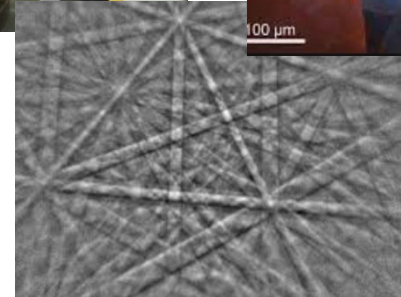
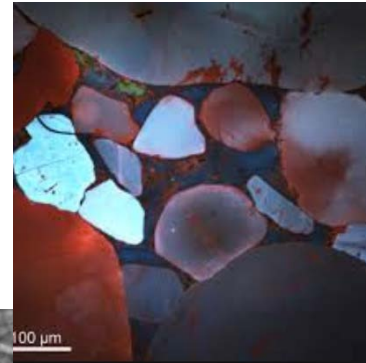
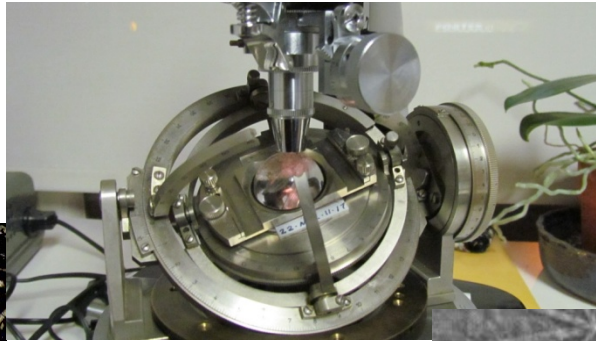
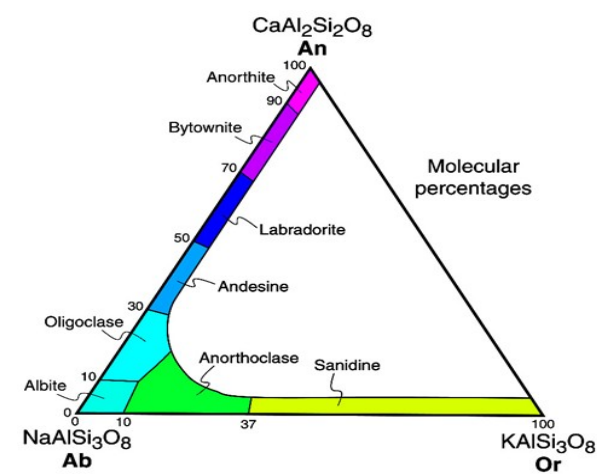
SCHEELITE

- **Fluorescent**
- **Altération caractéristique**
- **Tout les minéraux fluorescents ne sont pas de la scheelite!**



SANIDINE ET ANORTHOCLASE

- Présentes dans les « porphyres »
- Indicateur de surchaleur
- Difficile à identifier
 - Platine universelle
 - EBSD ou μ XRD

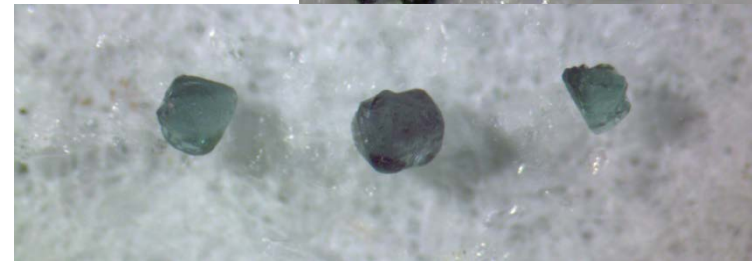


OXYDES

- **Magnétite (Laval)**
- **Rutile (TJCM-McGill)**
- **Chromite et spinelle**

- **Nécessite des analyses
microsondes ou LA-ICP-MS**

- **Méthodes coûteuses**



SILICATES DIVERS

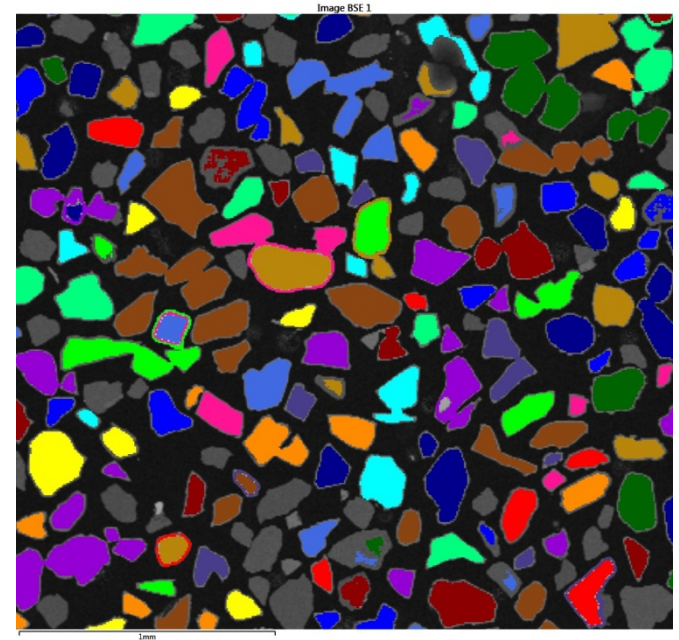
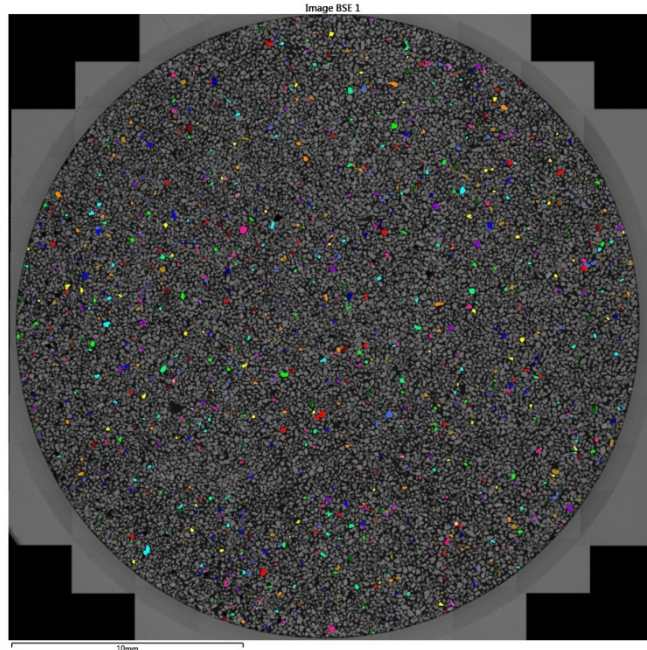
Caractérisent les altérations

- **B:** Tourmaline
- **Mn:** Épidote, Piémontite
- **Ca:** Grossulaire, Axinite, Pumpellyite
- **Fe:** Grunérite, Stilpnomélane, Gédrite
- **Al:** Kyanite, Topaze, Pyrophyllite
- *Etc., etc.,*



#6: MICROSCOPE ÉLECTRONIQUE AUTOMATISÉ

- Aztec, Mineralogic, MLA, Qemscan, TIMA, Rimscan, *etc.*
- Travaille sur la fraction 0-250 microns
- Identifie et analyse automatiquement
- Jusqu'à 20 000 grains / heure



Aztec Feature (Oxford Instruments)

AZtec - 2015-777_imagesR&D

Fichier Afficher Techniques Outils Aide

SEM-EDS Particule Décrire Échantillon Détecter Particules Acquérir Spectres Configurer classification Exécuter Revoir Configuration du microscope Montage Rapport des Résultats

Nouveau site Acquérir image **DÉMARRER** ARRÊTER Réglages Schéma de classification : Aucun

Image BSE 1

Imm Particules Couleur par particule

Intensité : 23308
Position : 1925,2520

Ajustement de détection

Filtres en niveaux de gris Seuils Filtres d'image binaire

Créer Fusionner les seuils

Particules Données montées 2 14539 / 14539

Résumé Données des particules Filtre de classification : Aucun

Détecter les particules Morphologie Chimie Catégorie

id	Surf... (µm²)	Rapport hauteur/largeur	Largeur (µm)	Direction (°)	ECD (µm)	Longueur (µm)	Périmètre (µm)	Forme
1	22 982,29	1,43	153,89	147,66	171,06	219,96	589,75	1,20
2	2 762,48	1,27	55,75	164,53	59,31	70,62	197,06	1,12
3	20 296,55	1,46	188,89	98,44	160,76	275,96	954,92	3,58
4	14 694,85	2,64	105,31	111,09	136,78	278,39	657,61	2,34
5	4 066,88	1,75	65,34	40,78	73,66	114,21	380,36	2,83
6	4 373,92	2,09	53,44	56,25	74,63	111,67	260,06	1,23
7	4 604,13	2,94	49,05	115,31	76,56	144,07	315,93	1,73
8	5 448,22	1,45	72,68	49,22	83,29	105,48	287,58	1,21
9	5 256,38	2,23	60,86	133,59	81,81	135,84	303,60	1,40
10	12 699,73	2,28	98,91	30,94	127,16	225,20	532,45	1,78
11	3 289,63	2,03	48,18	35,16	64,82	97,94	228,26	1,26
12	12 009,11	1,68	99,11	105,47	123,65	166,78	429,35	1,22
13	20 104,71	1,49	149,87	33,75	159,99	223,33	589,75	1,38
14	3 683,30	1,63	56,94	36,56	68,48	92,91	226,84	1,11
15	7 673,55	1,38	90,16	26,72	98,84	126,65	330,53	1,13
16	3 683,30	1,62	55,75	105,47	68,48	90,19	228,85	1,13
17	4 987,81	1,75	61,94	167,34	79,69	108,17	272,39	1,18
18	2 685,74	1,41	61,04	158,91	58,48	86,27	243,45	1,76
19	10 320,93	1,60	105,60	23,91	116,63	169,18	435,64	1,46
20	30 003,59	2,23	154,34	149,06	195,45	344,18	833,20	1,94
21	7 788,66	3,10	62,40	140,63	99,58	193,51	418,44	1,79
22	20 680,22	2,22	172,69	80,16	162,27	383,93	1 011,63	3,94
23	4 182,09	1,25	92,91	64,69	72,97	116,38	430,78	3,53
24	13 658,92	1,37	125,50	111,09	131,88	172,55	485,47	1,37
25	10 330,93	1,29	110,88	146,25	114,63	142,59	372,64	1,07
26	3 289,63	1,86	49,55	109,69	64,82	92,08	217,11	1,14
27	2 992,69	2,81	39,30	37,97	61,73	110,28	243,45	1,58
28	10 474,40	1,64	95,29	146,25	115,48	156,33	393,53	1,18
29	2 225,33	3,10	35,59	52,03	53,23	110,28	231,70	1,92
30	4 412,29	1,49	68,20	52,03	74,95	101,59	266,94	1,29
31	4 565,76	1,79	61,94	153,28	76,25	110,80	257,21	1,15

Statistiques

Min	Max	Mean	Std Dev	1,05	19,64	1,75	0,52	24,78	178,59	1,41	49,42	58,43	156,96	0,96
1918,39	114 693 091	21 201,65	951 143,85	27 124,28	109,65	122,72	229,61	178,59	89,06	50,41	110,87	33 536,49	278 127,35	53,67

Mag: 85x HF: 0.0 kV WD: 11.31 mm Taux en entrée: 350 cps Taux de comptage: 340 cps Temps mort: 0% Temps de mise en forme: 4

Chercher dans l'aide

Vue de données

Site actuel Organigramme de données Automatisation

2015-777_imagesR&D

- Echantillon 1
 - Site 1
 - Surface 1
 - Champs
 - Données montées 1
 - Image électronique 183
 - Recette d'analyse de particule

- Surface 1
- Champs
 - Données montées 2
 - Image BSE 1
 - Recette d'analyse de particule

Données montées 2

Vue miniature Spectre

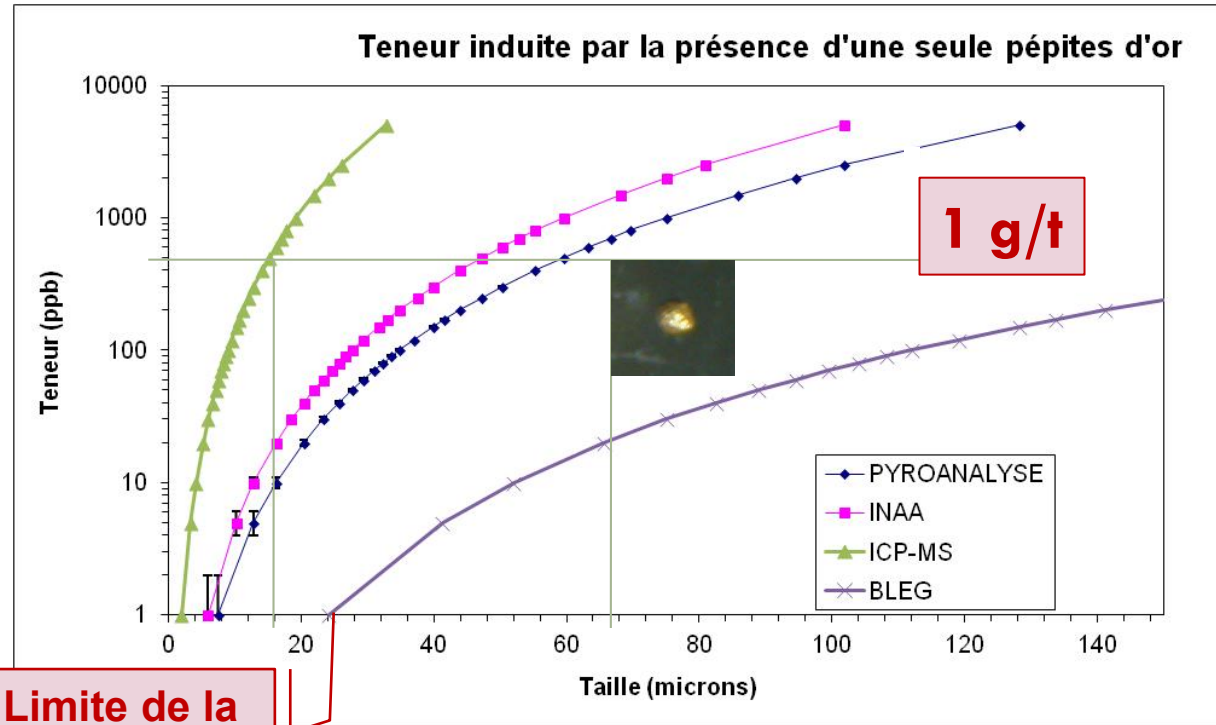
cps/eV

keV

OXFORD INSTRUMENTS

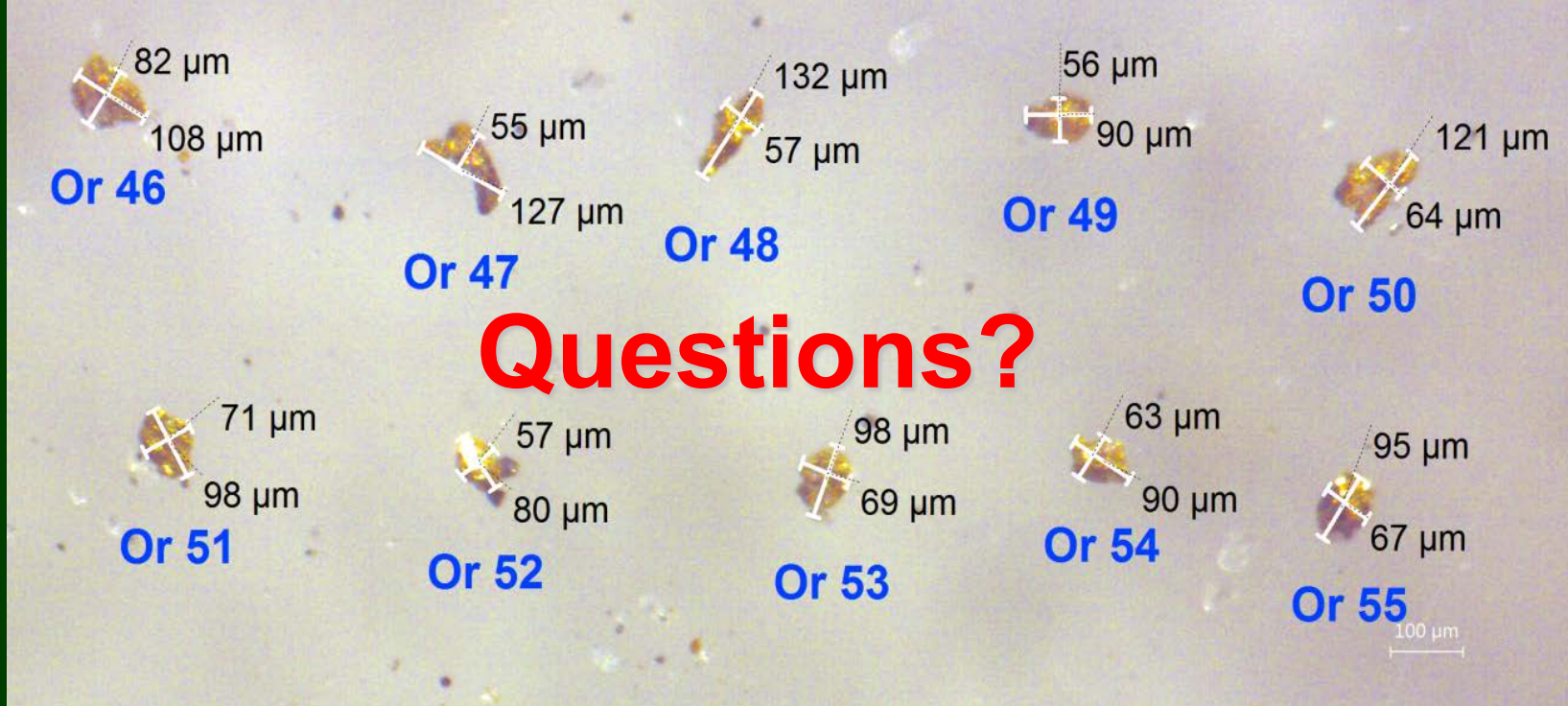
IOS

ANALYSES CHIMIQUES:



Limite de la
résolution
optique

Je suis disposé à redonner le cours de géochimie à Explor!



Pour obtenir cette présentation: <http://www.iosgeo.com/fr/intranet/>

› **Section Documentation**

› **Utilisateur: consorem**

› **Mot de passe: 2015consorem**