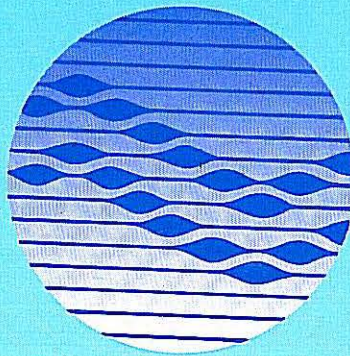




TOEGEPASTE GEOLOGIE EN HYDROGEOLOGIE

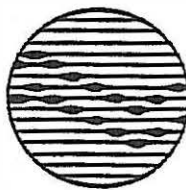
ECONOMISCHE PRE-EVALUATIE VAN
MINERALISATIES IN BOORKERNEN
VAN HET MASSIEF VAN BRABANT

88/23



UNIVERSITEIT GENT

ECONOMISCHE PRE-EVALUATIE
VAN MINERALISATIES IN BOORKERNEN
VAN HET
MASSIEF VAN BRABANT
tekst



Laboratorium
voor
Toegepaste Geologie
en
Hydrogeologie

Geologisch Instituut
Krijgslaan 281, S8
B-9000 Gent

tel. 09/264 46 47
fax 09/264 49 88

Opdrachtgever

Ministerie van de
Vlaamse Gemeenschap

Leiding : Prof. Dr. W. DE BREUCK

Studie en verslag :

Lic. G. FRANCESCHI

Projectnummer : TGO 98/23

Datum : januari 1999

INHOUD

1. INLEIDING
2. LIGGING VAN DE BORINGEN
3. WERKZAAMHEDEN
4. RESULTATEN
 - 4.1 Geochemische studie
 - 4.1.1 Beperkingen en controles
 - 4.1.2 Algemeen
 - 4.1.3 "Lithologisch"
 - 4.1.4 Economisch-geologisch
 - 4.2 Beschrijving van de boorkernen
 - 4.2.1 Lithologie
 - 4.2.2 Structuur
 - 4.2.3 Alteraties
 - 4.2.4 Sulfiden en Mineralisatie
5. DISCUSSIE EN CONCLUSIES
6. GEVOLGEN EN AANBEVELINGEN

BIJLAGEN

BIJLAGE 1 : Geochemische analyse resultaten van de monsters van de cuttings van boringen B1, B2, B3 en van de kernen van boringen B4, B5 en B6.

BIJLAGE 2 : Bondige beschrijving van de lithologie, alteratie en structurele kenmerken van de kernen van boringen B4, B5 en B6.

BIJLAGE 3 : Geselecteerde foto's van de kernen van boringen B4, B5 en B6.

BIJLAGE 4 : Petrografische studie

BIJLAGE 4A : Bijkomende gegevens en verduidelijkingen betreffende de petrografische studies op de kernen van boringen B4, B5, B6 en B7.

BIJLAGE 4B : Petrografische studie op 24 monsters van de kernen van boringen B4, B5, B6 en B7.

FIGUREN

- Figuur 1 : Ligging van de bestudeerde boringen.
- Figuur 2 : Elementen geanalyseerd via ICP en hun laagste detectielimieten (*in* OMAC brochure, 1998).
- Figuur 3 : Ca, K, Mg en S distributiegrafieken van boringen B4, B5 en B6.
- Figuur 4 : Co, Fe, S en Zr distributiegrafieken van boring B6.
- Figuur 5 : Cu, Pb, en Zn distributiegrafieken van boringen B4, B5 en B6.

TABELLEN

- Tabel 1 : Samenvatting van de werkzaamheden.*
- Tabel 2 : Analyseresultaten van enkele belangrijke "algemene" en "lithologische" elementen.*
- Tabel 3 : Gehalten aan voornaamste metalen.*
- Tabel 4 : De, vanuit economisch-geologisch standpunt, meest in het oog springende geochemische waarden uit de bestudeerde boringen.*

Nota : Om het geheel overzichtelijker te maken worden figuren en tabellen achteraan in het rapport weergegeven, i.e. na de tekst.

1. INLEIDING

In opdracht van het Vlaams Gewest (Project VLA98-3.5) werd tijdens de periode augustus-oktober 1998 een aantal boringen, uitgevoerd in het Massief van Brabant in Zuid-Vlaanderen, bestudeerd. De studie had tot doel een beter economisch-geologisch inzicht te verkrijgen in de aard en het potentiële van de mineralisaties aangesneden door de boringen en, per extrapolatie, van de regio.

De bestudeerde boormonsters worden immers gekenmerkt door de aanwezigheid van talrijke gedissemineerde sulfides, door een belangrijke alteratie met chloriet, sericiet en silicificatie en door talrijke kwartsaders. Hoge gehalten aan metalen werden puntueel waargenomen in kwartsaders en geselecteerde monsters, maar systematisch onderzoek naar de ertsinhoud van de boormonsters ontbrak.

In een eerste fase werd beslist om een geselecteerd gedeelte van de boringen B1 tot en met B3, en de volledige boringen B4 en B5, waarvan de cuttings en/of kernen in de opslagruimten van het Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie, Universiteit Gent, zijn opgeslagen, aan het onderzoek te onderwerpen alsook een gedeelte van de boring B6 waarvan de kernen, opgeslagen bij de Belgische Geologische Dienst, aan het Laboratorium voor Toegepaste Geologie werden overgemaakt. Enkele monsters van een zevende boring (B7) werden toegevoegd (enkel) voor petrografisch onderzoek.

De studie werd uitgevoerd door het Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie van de Universiteit Gent met medewerking van GF Consult bvba. en een reeks specialisten.

2. LIGGING VAN DE BORINGEN

De betrokken boringen werden uitgevoerd in Zuid-Vlaanderen in het gebied tussen de dorpskernen van Sint-Pieters-Kapelle en Edingen (fig. 1¹). Het betreft drie destructieve boringen (B1 - B3) en vier gekernde boringen. Alle boringen zijn verticaal²; het maaiveld varieert tussen +47 (B6) en +57 m (B2).

¹ : Om het geheel overzichtelijker te maken worden figuren en tabellen achteraan in het rapport weergegeven, i.e. na de tekst.

² : De boringen werden verticaal uitgevoerd, hun verloop werd echter niet nagetrokken.

3. WERKZAAMHEDEN

Het gerealiseerde project omvatte de volgende drie voornaamste activiteiten :

- 3.1 Een bondige beschrijving van de kernen van de boringen B4 (10.2-76m), B5 (8.3-148.7m) en van een gedeelte van B6 (79.3-161.1m).

De macroscopische beschrijving werd uitgevoerd aan de hand van de doorgezaagde kernen. In totaal werden 288 m kern doormidden gezaagd, waarvan ca. 82 m (B6), geboord met een grotere diameter, nog eens in twee werden gezaagd voor bemonstering en studie.

De macroscopische beschrijving werd uitgevoerd door GF Consult bvba. (incl. geassocieerde staf).

- 3.2 Het (continu) bemonsteren en (geochemisch) analyseren van de boorkernen en geselecteerde cuttings.

29 geselecteerde monsters van de cuttings van de destructieve boringen B1 t/m B3 werden gekwartield tot een monster van ca. 250-500 g bestemd voor verschepping en analyse.

In totaal werden 145 monsters van kernen voor analyse bereid. Deze werden over continue 2 m-intervallen genomen. De kernen werden vervolgens gemalen tot fracties van ca. 0,5 cm en gekwartield tot een monster van ca. 3 kg werd bekomen voor verschepping en analyse. De restfractie (>3 kg) wordt verder aan het Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie bewaard.

10 standaarden, voor controle van het (analyse)-laboratorium (zie verder), werden aangemaakt. Hiervoor werden monsters van boringen van totaal verschillende signatuur gebruikt. De monsters zijn gekenmerkt door hoge Pb-, Zn- en Ag-waarden.

In totaal werden dus 184 monsters verscheept voor analyse. De monsters werden onderworpen aan :

een grondige bereiding (gedroogd, gemalen en verpulverd tot 100 μ m);

systematische goudanalyse via de "fire assay" methode uitgevoerd op 30 g monster;
een ICP-analyse voor 45 elementen (fig. 2). De monsters (0,2 g van elk) werden opgelost gedurende 1 uur in een 66% aqua regia oplossing aan 120°C.

Achteraf werden twee monsters (GF 600 en 602) van de boring B5 aan een extra controle-analyse onderworpen. De twee monsters, gekenmerkt door hoge Pb- en Zn-waarden, volgden en/of gingen een standaard-monster met zeer hoge Pb-, Ag- en Zn-waarden vooraf. De tweede analyse bevestigde de eerste waarden.

De SiO₂-gehalten van een viertal monsters werden bepaald.

De bemonstering werd uitgevoerd door GF Consult bvba. De bereiding en de analyses van de monsters werden uitgevoerd door OMAC Laboratories Ltd. uit Ierland (adres in bijlage 1). Het routinelaboratorium geniet een zeer goede faam in de mijnbouwwereld en wordt bij de betere uit de sector gerekend. Enkele gegevens ter ondersteuning hiervan worden in bijlage 1 voorgesteld.

3.3 Het onderwerpen van 25 geselecteerde monsters aan een gedetailleerd petrografisch onderzoek.

- een oriënterende petrografische studie werd in augustus, voor de aanvang van het project, uitgevoerd door R.D. England, uit Australië, op 1 monster van boring B4.
- 21 monsters uit de boringen B4 (5), B5 (7) en B6 (9) werden aan een petrografisch onderzoek onderworpen. De studie werd uitgevoerd door Pontifex & Associates Pty. uit Australië (adres in bijlage 4B). Pontifex geniet een zeer goede faam in de mijnbouwwereld en is bekend voor zijn expertise in hydrothermale alteratieverschijnselen.
- 3 monsters uit boring B7, niet betrokken in dit project, werden uiteindelijk aan de bovenvermelde 21 monsters toegevoegd, enerzijds ter compensatie van het annuleren van de studie van vloeibare insluitles op twee monsters, anderzijds omdat het een kritische (discussie) zone betreft. De beslissing om af te zien van de studie van vloeibare insluitels werd genomen omdat vastgesteld werd dat

degelijke studies op de boringen reeds waren uitgevoerd (Piessens, K.U.L.). Het erkennen van een kritische zone in boring B7 en het toevoegen van drie monsters voor petrografisch onderzoek geschiedde op basis van een kort bezoek en discussie aan de Geologische Dienst van België (BGD) en aan de kernen van boring B7. De uiteindelijke selectie van de drie monsters gebeurde door W. De Vos (BGD).

De verschillende werkzaamheden zijn samengevat in tabel 1³.

³ :

Om het geheel overzichtelijker te maken worden figuren en tabellen achteraan in het rapport weergegeven, i.e. na de tekst.

4. RESULTATEN

De resultaten van de hierbovenvermelde activiteiten worden uitvoerig beschreven in een reeks uitgebreide rapporten door de onderscheidene contractanten opgesteld. Huidig verslag vat enkel de voornaamste resultaten en conclusies samen en verwijst, voor verdere details, naar deze rapporten, als bijlagen aan dit verslag gevoegd.

4.1 Geochemische studie

De volledige resultaten van de geochemische analyses worden voorgesteld in bijlage 1.

De voornaamste resultaten kunnen als volgt worden samengevat :

4.1.1 Beperkingen en controles

Enkel de voorhanden zijnde boorkernen werden geanalyseerd. De vroeger reeds bemonsterde kwartsaders, uit hun bergplaats/kisten gehaald, werden dus niet herbemonsterd en opnieuw geanalyseerd. Daar het meestal gaat om aders met hoge concentraties aan "economische" mineralen, zijn de waarden voor deze elementen over de hierna beschreven intervallen dus dikwijls onderschat. Voor een vollediger beeld verwijzen we naar het Rapport Project VLA 96-3.6 van K. Piessens et al. (februari 1998). Bijlage 1.1 vermeldt de hoeveelheid overblijvende kern (t.o.v. bemonsterde interval) en de zones van ontbrekende delen t.g.v. eerdere bemonstering. Voor zoverre de auteur van de bemonstering kon achterhaald worden, wordt zijn naam eveneens in de tabel vermeld.

De uitwendige controles (via geïntercaleerde standaarden) tonen een zeer goede repetitie van de resultaten aan. De analyses mogen dan ook als betrouwbaar aangenomen worden (bijl. 1.2).

4.1.2 Algemeen

Op enkele uitzonderingen na, liggen de volgende elementen in de ICP scans onder of dichtbij de detectie limieten :

B (5ppm); Bi (5ppm); Cd (1ppm); Ga (5ppm); Ge (2ppm); Hg (1ppm); In (2ppm); Sc (1ppm); Sr, Te (5ppm); Th(5ppm); Be (<1ppm); Ge(<2ppm); Nb (<5ppm); Rb (<50ppm); Sn (<5ppm); Te (<2); Tl (<5ppm); U (<5ppm); W (<5ppm), Y (1ppm) en Zr (1ppm).

Deze lage waarden worden (op enkele uitzonderingen na) hierna niet verder besproken.

4.1.3 Lithologie

Tabel 2 vat de resultaten van de voornaamste "lithologische" elementen samen. Figuur 3 illustreert de

curves van de vier meest indicatieve "lithologische" elementen.

De volgende algemene "lithologische" opmerkingen kunnen worden gemaakt:

Ca is zeer laag en reflecteert hiermee de opmerkelijke lage inhoud aan carbonaten in de kernen.

Mg is relatief hoog (1-2%); de hoogste gehalten komen voor in de chloritische (zie verder) gedeelten van de kernen, bruin- (sericiet) gealtereerde kernen hebben een duidelijk lager Mg-gehalte (vergelijk de alteratiebeschrijvingen-bijl. 2 met de gegevens van fig. 3). Dit is bijzonder duidelijk in boring B4 (zie, hierachter, vereenvoudigde voorstelling).

Diepte (vereenvoudigd)	Alteratie	Mg
10,2-35,3m	Bruine sericitisatie (?)	<<1%
35,3-73,4m	Chloritisch	1-1,5%

Noteer echter (zie verder) dat de hoogste goudwaarde (boring B3) overeenstemt met het hoogste Mg-gehalte, wat op een Mg-metasomatisme kan wijzen.

Kalium (0.1-0.3%) komt in opmerkelijk uniforme, maar lage, gehalten voor. Dit kan misschien worden toegeschreven aan de grote hoeveelheid detritische kwarts in de gesteenten.

De Na-(0.02-0.06%) en B-gehalten zijn zeer laag wat een volledige afwezigheid van boor en sodisch metasomatisme (en toermalijn) suggereert.

De geanalyseerde elementen vertegenwoordigen ca 10 à 20% van de gesteenten; een groot deel van het overblijvend percentage wordt wellicht (in grote mate) door kiezel, waarschijnlijk in de vorm van detritische kwarts, ingenomen (zie verder).

De gehalten van een groot aantal geanalyseerde elementen nemen in boring B6 drastisch af rond 125 m diepte. Dit is, onder andere, heel opvallend voor Al, As, Co, Li, Mg, Ni, S, Zn en Zr. De distributiegrafieken van enkele van deze elementen worden ter illustratie voorgesteld in figuren 3 en 4. Het verval stemt niet onmiddellijk overeen met een macroscopisch opgemerkte lithologische

verandering⁴, maar wordt toegeschreven aan een toename aan kiezel (SiO₂ t.g.v. silicificatie) en wordt ondersteund door de SiO₂-analyses op vier geselecteerde monsters. Deze bedragen 55,8 en 56,8% voor de twee monsters uit boring B6 genomen boven en 71,9 en 67,4% voor de twee monsters genomen onder de arbitraire 125m diepte (bijlage 1.6, vereenvoudigde samenvatting en illustratie hierachter)

Monster	Boring (nr.) - diepte (m)	SiO ₂ (%)	Co (ppm)	Fe (%)	S (%)	Zr (ppm)	Li (ppm)	Mg (%)
GF 693	B6/87-89	55,8	26	5,77	1,19	20	45	1,94
708	B6/115-117	56,8	23	4,12	1,62	18	31	1,2
717	B6/131-133	71,9	1	0,13	0,14	7	<2	0,02
729	B6/155-157	67,4	1	0,08	0,07	6	<2	0,01

Zwavel vertoont geen éénduidig gedrag. Enerzijds komt het lokaal verarmd voor in de bruine (sericiet) gealtereerde delen van de boorkernen (bv. in B6 van ca. 110-120 m), waarbij de verarming wellicht verband houdt met de afbraak van pyriet (zie verder); maar anderzijds zijn de zwavelgehalten juist relatief hoger in de sericietgedeelten en laag in de chloritische gedeelten van de boringen. Dit laatste is vrij duidelijk merkbaar in boring B4 op figuur 3.

4.1.4 Economisch-geologisch aspect

Tabel 3 vat de resultaten van de voornaamste metalen ("economisch-geologische" elementen) samen, zowel van de cuttings als van de kernen. Figuur 5 illustreert de curves van de vier meest indicatieve elementen van de boorkernen.

Elementen van mogelijk economische aard zijn Ag, Au, Cu, Pb en Zn. Alhoewel de gehalten in de bestudeerde boorkernen nergens de economische drempels bereiken, worden regelmatig hoge en duidelijke anomale waarden genoteerd (10x achtergrondwaarden). De hoogste en geselecteerde waarden zijn samengevat in tabel 4.

De metaalgehalten in de destructieve boringen zijn over het algemeen zeer laag. Zeer hoge waarden worden echter in de cuttings van boring B3 gevonden. Met 1,37% Cu, 49 g/t Ag en 0,55 g/t Au vertoont het monster GF679, genomen tussen 99 en 100m, de hoogste waarde uit het hele geanalyseerde lot (gegevens

⁴ :

uit de boorbeschrijvingen van de Belgische Geologische Dienst en uit eigen observaties kwamen geen opmerkelijke lithologische veranderingen naar voor.

99 en 100m, de hoogste waarde uit het hele geanalyseerde lot (gegevens hierachter vereenvoudigd en samengevat). Het monster is eveneens geassocieerd met hoge Pb, Zn en Te waarden. Dit laatste suggereert een mogelijke associatie met telluriden. Bi is lichtjes anomaal en Mg is zeer hoog (6%). Het geanalyseerde monster bestaat uit leistenen met talrijke kwartsbrokjes en grote pyriet- en andere sulfidemineralen (chalcopyriet, sfaleriet?). De analyse bevestigt eerdere observaties (Mahauden, 1987) waarbij de hoge waarden worden toegeschreven aan de sulfiden in de kwartsaders.

Monster nr.	Boring	van m	tot m	ppm Ag	ppm Au	ppm Cu	% Fe	ppm Pb	% S	ppm Zn
GF677	B3	71	72	34.1	0.26	3245	17.58	533	5.18	1216
GF678	B3	72	74	6	0.04	91	5.93	259	0.3	309
GF679	B3	99	100	49.1	0.55	13757	7.73	547	5.98	533
GF680	B3	102	103	4	0.17	701	4.7	96	2.52	173

Hoewel de analyse de aanwezigheid van sterk gemineraliseerde kwartsaders in de regio bevestigt, dient men voorbehoud te maken ten aanzien van de economische waarde ervan omdat de representativiteit (aard=cuttings, onvolledige monsterhoeveelheid, herhaalde -vroegere- manipulaties, etc.) niet gegarandeerd is.

De goudwaarden in de boorkernen zijn in het algemeen verwaarloosbaar laag. De meeste waarden schommelen rond of bereiken de laagste detectiewaarden niet. Enkele "hogere" gehalten (o.a. 50 ppb in monster GF 710, genomen tussen 119-121 m diepte in boring B6), in de 30-50 ppb limieten, kunnen veroorzaakt zijn door de aanwezigheid van kleine gemineraliseerde (kwarts)adertjes. Noteer dat de grotere aders, waarin vroeger onderzoek herhaaldelijk hogere goudwaarden aanwees, niet werden bemonsterd gedurende deze studie.

+2 m lange intervallen met anomale gehalten aan Ag, Cu, Pb en Zn worden regelmatig opgemerkt in de boorkernen (tab. 1). De betere gemineraliseerde intervallen komen voor in boringen B5 en B6, waarbij vooral Zn (en Pb) hoge waarden aanneemt met in B5 6 m aan 0,2 % Pb en 0,2 % Zn en in B6 8 m aan 0,2 % Zn. De hoogste koperwaarden worden in de gesilicificeerde zone van B6 (151-153 m) gevonden met 2 m aan 16 g/t Ag en 0,25 % Cu. Noteer dat de kopermineralisatie in de vorm van grote (+1 mm) gedissemineerde Cu-sulfiden voorkomt in een gesilicificeerd pelitisch (te bevestigen) gesteente, i.e. niet in een kwartsader. De gedissemineerde mineralisatie komt voor in een 15-20 cm lang

De analyses tonen in de mineralisaties enerzijds een Ag-Cu en anderzijds een Pb-Zn affiniteit aan.

Hg, Ba en As, de gebruikelijke indicatoren voor epithermale mineralisaties, vertonen allen lage waarden.

Geen analyses werden uitgevoerd voor platinamineralen (PGM). Enkele hoge waarden werden in voorgaande rapporten gemeld in gemineraliseerde kwartsaders (Sterpin, verb. mededeling). Daartegenover staat echter dat de elementen, gebruikelijk geassocieerd met basische en ultrabasische gesteenten en met PGM zoals Cr, Ni en Co allen lage waarden vertonen. Op hun manier en binnen de limieten van de studie, bevestigen deze waarden een eerder kwartsrijke, granitische bron voor het gesteente.

4.2.2 Structuur

Plooiing en ontwikkeling van splijting : Al de kernen werden geplooid op een metrische schaal met regelmatige kleinschalige rimpels en/of microplooien. Foto's 5-10 in bijlage 2 illustreren de verschillende maten van vervorming. Beschrijvingen van gelaagdheid en splijting zijn voorgesteld in bijlage 2.

Pontifex et al. herkennen doorgaans twee types van splijting in de boringen, namelijk een verbrede splijting ("*spaced cleavage*", i.e. met een lage densiteit), met lamellen van zwak georiënteerde fyllosilicaten, en een penetratieve splijting die zulke lamellen niet vertoont (zie rapport Pontifex, bijl. 4B).

De oorspronkelijke gelaagdheid heeft een subverticale oriëntatie en wordt doorsneden door een verbrede assenvlak schistositeit ("*axial plane schistosity*") (Foto 5, bijl. 3). De schistositeit heeft over het algemeen een consistente helling van 55 tot 70 graden t.o.v. van de kernas ("*core axis*" of "cax" in bijl. 2) of, aangezien de boringen verticaal werden uitgevoerd, een reële helling van 20 à 35 graden. Dit suggereert een compressieve vervorming die resulteert in de beweging van één blok over een ander en verdikking van de korst.

Met de toenemende vervorming, neemt de "shearing" toe langs de breed verspreide splijtingszones, wat resulteert in de omzetting van de gelaagdheid (foto's 6, 7, 10, bijl. 3). De splijting wordt lokaal eveneens meer geconcentreerd (foto's 8 en 9, bijl. 3). De smalle hoek van de splijtvlakken, de dominantie van steile hellingen en de shearing suggereren alle dat de plooiing plaatsgreep in een milieu van lage-hoek overschuivingen ("*low-angle thrusting*").

Sommige verbrede splijtzones zijn lensvormig, andere zijn duidelijk vlakvormig. Penetratieve splijting wordt in de vulkanieten door Pontifex herkend, vooral in de fyllosilicaat-rijke klasten.

Andere structuren: Zones van "*brittle faulting*", van ontwikkeling van breuk-verwante kleibanden⁵ en rijk aan kwartsaders komen duidelijk voor aan de basis van boring B4 en in de lagere delen van B6.

⁵ : fault pugs : een laagje klei dat zich ontwikkelt tussen de ertsader en het gastgesteente.

4.2 Beschrijving van de boorkernen

Macroscopische beschrijvingen van de lithologie, structuur en alteratie van de boringen B4, B5 en B6 worden voorgesteld in bijlage 2. Geselecteerde belangrijke kenmerken worden geïllustreerd aan de hand van een reeks foto's (bijl. 3). Petrografische beschrijvingen, discussies en commentaren worden voorgesteld in bijlage 4 (4A en 4B). Voor gedetailleerde en aanvullende gegevens wordt naar deze bijlagen verwezen. De voornaamste resultaten kunnen als volgt worden samengevat :

4.2.1 Lithologie

Alhoewel gewijzigd door regionaal lage-graad metamorfisme en vervorming door splijting en alteratie, zijn de originele kenmerken van het gesteente goed bewaard over het gros van de bestudeerde kernen.

Men kan twee dominante lithologieën onderscheiden:

- een rhytmisch alternerende peliet-zandsteen-(kwartsiet)-sequentie met relatief weinig variatie over de hele lengte van de boringen. De dikte van de sedimentaire zones varieert van fijne lamellen (mm grootte-orde) tot dunne laagjes (cm grootte-orde) met occasionele dikkere zandsteenlagen die maximaal 10 cm bereiken. De sedimentaire structuren zijn voor het grootste deel vernield maar ritmisch gevormde tussenlagen, laminatie en kruisgelaagdheid worden regelmatig opgemerkt (Foto's 1-4, bijlage 3). De pelieten worden gedomineerd door zeer fijne fyllosilicaten samen met min of meer talrijk cryptokristallijne en/of microkristallijne kwarts. De petrologie (bijl. 4) toont aan dat de zandige gedeelten van de sedimenten goed gesorteerd zijn en dat de grootte van de korrels binnen zeer nauwe limieten ligt. Het zijn dus duidelijk geen turbidieten maar korrelige sedimenten ("*grain-supported*") die resulteren uit de activiteit van (hier mariene) stromingen ("*traction current*").
- Zure vulkanisch-verwante clastische gesteenten, variërend van fijnkorrelige tuffen tot agglomeraten en zeldzame bommen, van fyllosilicaat-gealtereerde zure vulkanieten en, in de meeste gevallen, van geresorbeerde vulkanisch kwartsfenokristallen.

Nota : enkele kenmerkende (macroscopisch) waargenomen texturen werden, tijdens de macroscopische beschrijving van de kernen, toegeschreven aan fluidisatieverschijnselen in het gesteente (foto's bijl. 3), waarbij het gesteente in "vloeibare" toestand die texturen aanneemt. Deze verschijnselen werden door het microscopisch onderzoek van Pontifex et al. bevestigd. In tegenstelling echter tot eerdere interpretaties, die een fluidisatie van het (verharde) gesteente t.g.v. druk of als transitie naar "*brittle deformation*" vooropstelde, interpreteren Pontifex et al. de fluidisatie als een eenvoudig gevolg van de afzetting van ongeconsolideerde sedimenten en gel-achtige pelieten.

4.2.3 Alteraties

In hoofdzaak neemt men twee alteratietypes waar:

- een chloriet-sulfide-associatie, die een verband aanduidt met epigenetische of mogelijk hydrothermale (inclusief hydrothermale vulkanisch-verwante) sulfiden en processen met tekenen van metasomatische processen tijdens het lage-graad metamorfisme;
- een koffie-karamelkleurige alteratie, gekenmerkt door de aanwezigheid van zachte fyllosilicaten⁶ en vermoedelijk verband houdend met de sericitisatie. Dit schijnt een later fenomeen te zijn. Pyriet, dat wellicht behoorde tot de chloriet-sulfide-associatie, blijkt lokaal te zijn vernietigd, zoals (plaatselijk, zie commentaren hiervoor) het relatief lage zwavelgehalte in de meer intensief gealtereerde zones laat veronderstellen. Het is niet duidelijk wat de oorzaak van de bruine kleur is. Mogelijk is die veroorzaakt door fijne hematiet afkomstig van de afbraak van pyriet; dit mineraal werd evenwel niet waargenomen met de elektronenmicroscop noch tijdens het petrografisch onderzoek.

4.2.4 Sulfiden en Mineralisatie

De kernen bevatten regelmatig hoge sulfidegehalten. De sulfiden zijn vooral pyriet en in mindere mate associaties van pyriet en basismetaalsulfiden (chalcopyriet, sfaleriet, galeniet). Deze laatste komen voor als individuele korrels maar volgens Pontifex et al. ook regelmatig als inclusies in pyriet.

Uit de macroscopische waarnemingen en het petrografisch onderzoek leidt men af dat de

⁶ : deze fyllosilicaten werden eerst als talk beschreven; later gedetailleerd en specifiek onderzoek wees uit dat het vermoedelijk om muscoviet gaat (e-mail Pontifex, bijl. 4A).

meeste sulfiden metamorf van oorsprong zijn en verband houden met de splijting. Het petrografisch onderzoek geeft aan dat een (klein) deel van de sulfiden misschien "geërfd" is. Pyriet en de basismetaalsulfide-associaties, geobserveerd in monsters Pet 7, 9 en 10 (bijl. 4B), herinneren, qua textuur, aan de sulfiden uit vulkanisch massieve sulfide-afzettingen (VMS) of vulkanisch-exhalative massieve sulfide-afzettingen (VES). Dit punt wordt versterkt door de aanwezigheid van de hierboven beschreven chloriet-sulfide-alteratie.

Drie generaties van aders en mineralisaties kunnen in de bestudeerde boorkernen worden waargenomen :

Pyriet (-sulfide)-aders en -disseminaties: Pyriet/sulfide-aders en -disseminaties komen frequent voor in de donkergrijze (chloritische?) delen van de kernen, maar blijken afwezig in de gele sericitisch gealtereerde lithologieën. Een typisch voorbeeld van een pyrietader wordt voorgesteld in foto 18 (bijl. 3). Relatief grofkorrelige pyriet heeft gunstige chloritische pelietlithologieën vervangen en heeft adertjes gevormd langs de splijtvlakken.

De oorsprong van het pyriet blijft controversiël (zie hiervoor). Het is waarschijnlijk in grote mate geremobiliseerd syngenetisch pyriet afgeleid van oorspronkelijk pyrietrijke pelietlagen. Op basis van de petrografische studie (bijl. 4B) blijkt echter dat een deel van de sulfiden kunnen geërfd zijn van vulkanische processen. Noteer eveneens dat een weliswaar zeer klein deel van de sulfiden van laattijdige vulkanische oorsprong kan zijn, gevormd en afgezet tijdens de late stadia van vulkanische-hydrothermale processen in een sedimentair milieu.

Vlakvormige kwarts-pyriet- en andere sulfide-aders: Deze aders zijn ontwikkeld langs de uitgebreide splijtvlakken en in fluidisatiezones langs splijtzones. Gedeeltelijk schijnen ze in verband te staan met gele sericit gealtereerde zones, zoals in boring B5 op 38-40 m. Een gele alteratiehalo rond één van de aders is geïllustreerd in foto 22 (bijl. 3). De aders zijn vlak-gebonden (plaatvormig) en zijn gevormd uit kwarts en pyriet.

Pyriet -chalcopyriet - kwartsaders zijn opgemerkt in zones van intense splijting die eveneens gefluidiseerde breccies ("*fluidised breccias*") bevatten. Voorbeelden worden gegeven in fotos 17 en 18, bijlage 3.

Ongemineraliseerde kwarts-lichtgroene-muscoviet-aders : voorbeelden van deze aders worden voorgesteld in foto's 25 en 26 (bijl. 3). Het betreft over het algemeen onregelmatige, tot 10 cm brede aders, die bestaan uit witte melkkwarts met zones van licht-groene micas en (minder) biotiet. Sommige zones zijn grofkorrelig en bevatten talrijke gangen gevuld met wel-gevormde kwarts en mica. Er is geen alteratie rondom deze aders; ze zijn dus ontstaan na de serictische alteratie en stellen waarschijnlijk (zwakke) laat-stadium remobilisaties van kwarts voor.

5. DISCUSSIE EN CONCLUSIES

De studie bevestigt de aanwezigheid van (minstens) twee mineralisatieprocessen. Een eerste, controversieel proces, zou verband kunnen houden met het zure (Tremadoc?) vulkanisme, waargenomen in de boringen in de vorm van tuffen en agglomeraten en geassocieerd met een sterke chloriet-sulfide-alteratie. Het is mogelijk dat een aantal sulfiden waargenomen in de sedimenten verband houdt met deze processen en dat deze sulfiden ofwel rechtstreeks in de sedimenten werden afgezet of via latere processen van deze vulkanische verschijnselen werden "geërfd". Dit kan wijzen op een gunstig milieu voor vulkanische sulfide-mineralisaties van het VMS of VES type.

Dit impliceert eveneens een groter potentiëel brongebied voor de concentratie van metalen tijdens latere (remobilizatie)processen.

Een tweede en belangrijkste proces bestaat uit mineralisaties die verband houden met (veel) latere tektonische bewegingen (Devoon?). Uit de petrografische studie en de macroscopische observaties blijken deze bewegingen hoofdzakelijk uit "lage-hoek" overschuivingen, met schuifzoneverschijnselen, te bestaan. Deze bewegingen gaan samen met de ontwikkeling van talrijke splijtvlakken. Syntektonische hydrothermale fluida worden verantwoordelijk geacht voor de alteratie en mineralisatieprocessen. De kanalisatie van de fluida en de afzetting van kwarts en sulfiden in aders geschiedde via breuken en splijtvlakken. Tijdens deze bewegingen werd waarschijnlijk syngenetisch pyriet gemobiliseerd uit de oorspronkelijk pyrietrijke peliet-lagen; andere bronnen zoals de hierboven vermelde vulkanisch-verwante afzettingen en de mineralisaties verwant met de diepe granitische batholieten⁷ (Ordovicium-Siluur?) kunnen eveneens een min of meer belangrijke rol hebben gespeeld.

De geochemische analyses bevestigen het polymetallisch karakter van de mineralisatie en tonen het bestaan aan van enerzijds een Cu-Ag- en anderzijds van een Zn-Pb-affiniteit.

De aanwezigheid van anomale basismetaalmineralisaties in de vorm van gedissemineerde sulfiden en concentraties van aders over relatief grote dikten wijzen op een belangrijk mineraliserend systeem, dat grotere ertsconcentraties kan hebben teweeggebracht. Alhoewel de goudwaarden over het algemeen bijzonder laag uitvallen wijst de sub-economische goudwaarde in een kwartsader in boring B3 op de aanwezigheid van goud (zij het in associatie met koper en

⁷: Waarvoor huidige studie geen verdere details heeft opgeleverd.

zilver) in het systeem, en sluit dus de mogelijkheid van het bestaan van grotere concentraties niet uit.

6. GEVOLGEN EN AANBEVELINGEN

De studie bevestigt de prospectieve aard van de geologische omgeving voor :

- het zoeken naar grotere sulfidelichamen van basismetalen van het type VMS en VES in de vulkanische en omliggende afzettingen van de regio;
- het zoeken naar hydrothermale afzettingen van (vooral) edele metalen in structurele vallen.

Het zoeken naar gunstige sites voor mineralisatie van hierboven beschreven type zal wellicht gebruik moeten maken van meer verfijnde technieken. Voor grotere sulfide-ertslichamen wordt aan geofysische methodes gedacht die geleiders aanduiden zowel aan de grond (bv. electromagnetische technieken (EM) en geïnduceerde polarisatie, IP) als in de lucht (EM).

Voor het zoeken naar gunstige structurele vallen en (resistieve) kwartsaders kan gedacht worden aan IP- (zowel de geleidbaarheid als de resistiviteit) of aan bepaalde EM-technieken (veranderlijk EM, dat eveneens beide parameters opmeet).

Verdere exploitatie van de voorhanden zijnde boringen (tweede deel B6), B7 en B8 wordt aanbevolen. Naar analogie met huidige studie wordt verwacht dat onderzoek van de overblijvende kernen eveneens waardevolle geologische en mineralogische gegevens zal opleveren.

Tenslotte moet eveneens vermeld worden dat de hierboven beschreven mineraliserende fenomenen van die aard zijn dat ze eventueel grotere gebieden bestrijken. Hierdoor wordt aanbevolen om het onderzoek eventueel verder te zetten over grotere gebieden.