

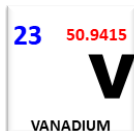
**VANADIUM
PROCESSING &
PURIFICATION**

**VANADIUM
ELECTROLYTE
PRODUCTION**

**VANADIUM
ELECTROLYTE
RECYCLING**

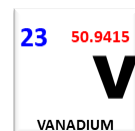
**VANADIUM REDOX
FLOW BATTERY
(VRFB)**

VANADIUM ELECTROLYTE PRODUCTION and RECYCLING : BROCHURE



ANALYTE

François CARDARELLI



**Super
ANALYTE**

PRODUCTION et RECYCLAGE D'ÉLECTROLYTE DE VANADIUM: BROCHURE





VANADIUM ELECTROLYTE

VANALYTE™ and SuperVANALYTE™

PUBLICATION

TITLE: Vanadium Electrolyte Production and Recycling
EDITION: 01
VERSION: 04
PAGES: 20 pages
DATE: April 24th, 2021
AUTHOR: François Cardarelli
PUBLISHER: Electrochem Technologies & Materials Inc.
ADDRESS: 201-2037 Aird Avenue
Montreal, Québec, Canada, H1V 2V9
COPYRIGHT: ©2021 François Cardarelli
©2021 Electrochem Technologies & Materials Inc.

ÉDITION

TITRE: Production et recyclage d'électrolyte de vanadium
EDITION: 01
REVISION: 04
PAGES: 20 pages
DATE: Le 24 avril 2021
AUTEUR: François Cardarelli
EDITEUR: Electrochem Technologies & Matériaux Inc.
ADRESSE: 201-2037 Avenue Aird
Montréal, Québec, Canada, H1V 2V9
COPYRIGHT: ©2021 François Cardarelli
©2021 Electrochem Technologies & Matériaux Inc.



50.9415

23^V
[Ar] 3d³4s²
Vanadium



**VANADIUM
PROCESSING &
PURIFICATION**

**VANADIUM
ELECTROLYTE
PRODUCTION**

**VANADIUM
ELECTROLYTE
RECYCLING**

**VANADIUM REDOX
FLOW BATTERY
(VRFB)**



VANADIUM ELECTROLYTE

VANALYTE™ and SuperVANALYTE™



DISCLAIMER

The information set forth is based on information that Electrochem Technologies & Materials Inc. believes to be accurate. No warranty, expressed or implied, is intended. The information is provided solely for your information and consideration and Electrochem Technologies & Materials Inc. assumes no legal responsibility for use or reliance thereon.

The technical information brochure should be used in conjunction with the safety data sheet (SDS). It does not replace it. The information given is based on our knowledge of this product, at the time of publication. It is given in good faith.

The attention of the user is drawn to the possible risks incurred by using the product for any other purpose other than that for which it was intended. This does not in any way excuse the user from knowing and applying all the regulations governing his activity. It is the sole responsibility of the user to take all precautions required in handling the product. The aim of the mandatory regulations mentioned is to help the user to fulfill his obligations regarding the use of hazardous products.

SAFETY DATA SHEET (SDS) Upon request



AVIS DE NON-RESPONSABILITÉ

Les renseignements ci-dessus sont fondés sur des renseignements qu' Electrochem Technologies & Matériaux Inc. considère comme étant précis. Aucune garantie, expresse ou tacite, n'est fournie. Les renseignements sont fournis seulement pour votre information et votre considération et Electrochem Technologies & Matériaux Inc. n'assume aucune responsabilité légale quant à l'utilisation ou la fiabilité.

Cette brochure technique doit être utilisée conjointement avec la fiche de données de sécurité (FDS) . Cela ne la remplace pas. L'information donnée est basée sur notre connaissance de ce produit, au moment de la publication.

Il est donné de bonne foi. L'attention de l'utilisateur est attirée sur les risques éventuels encourus lors de l'utilisation du produit à d'autres fins que celles pour lesquelles il a été conçu. Ceci n'excuse en aucun cas l'utilisateur de connaître et d'appliquer tous les règlements régissant son activité. Il est de la seule responsabilité de l'utilisateur de prendre toutes les précautions nécessaires lors de la manipulation du produit. Le but des règlements obligatoires mentionnés est d'aider l'utilisateur à remplir ses obligations concernant l'utilisation de produits dangereux.

FICHE DE DONNÉES DE SÉCURITÉ (FDS) Sur demande

ELECTROCHEM VANADIUM EQUIMOLAR ELECTROLYTE SOLUTION



[V(IV)]/[V(III)] = 0.95 to 1.05 (mol/mol)		MASS DENSITY: 1,320 to 1,460 kg/m ³	
DYNAMIC VISCOSITY: 1.5 – 2.5 mPa.s		CONDUCTIVITY: 280 – 360 mS/cm	
• VOSO ₄ [27774-13-6]	129 – 140 g/L	9.3 – 9.7 wt.%	0.80 M – 0.90 M
• V ₂ (SO ₄) ₃ [13701-70-7]	155 – 167 g/L	11.2 – 11.7 wt.%	0.40 M – 0.45 M
• H ₂ SO ₄ (free) [7664-93-9]	195 – 205 g/L	14.4 – 19.5 wt.%	2.0 M – 3.0 M
• VANADIUM (total)	81 – 90 g/L	6.0 – 6.5 wt.%	1.6 M – 1.8 M
• H ₃ PO ₄ (free) [7664-38-2]	0.0 – 11.0 g/L	0.0 – 0.75 wt.%	0.00 M – 0.11 M
ADDITIVES: upon request		COLOR: BLUE-GREEN	PACKING: 200 L DRUMS
UN NUMBER: 3264		TDG/IMDG/ICAO/IATA:	Class 8





VANADIUM ELECTROLYTE

VANALYTE™ and SuperVANALYTE™

ÉLECTROLYTE DE VANADIUM

VANALYTE^{MC} et SuperVANALYTE^{MC}

OUTLINE



1. Introduction
2. Background
3. Vanadium electrolyte production
4. Specifications and composition
5. Benefits and advantages
6. Recycling of vanadium electrolyte
7. Commercial strategies
8. Safety data sheet (SDS)
9. Materials sourcing policy
10. Packaging and storage
11. Ordering vanadium electrolyte

SOMMAIRE



1. Introduction
2. Fondements
3. Production d'électrolyte de vanadium
4. Spécifications et composition
5. Les avantages technologiques
6. Recyclage d'électrolyte de vanadium
7. Stratégie commerciale
8. Fiche de données de sécurité (FDS)
9. Politique d'approvisionnement
10. Emballage et entreposage
11. Commander l'électrolyte



VANADIUM ELECTROLYTE

VANALYTE™ and SuperVANALYTE™



1. INTRODUCTION

Since 2018, the Montreal-based Canadian corporation **ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC.** produces at its facilities located in Boucherville, Québec, vanadium electrolyte solutions for VRFB using its proprietary and patent pending electrochemical process.

The vanadium redox flow batteries (VRFB) are rechargeable power sources that utilize aqueous electrolytes containing vanadium cations under four different oxidation states to store electrochemical energy.

The great advantage of vanadium redox flow batteries compared to other electrical power sources is the fact that electric power is related to the stack configuration while the energy is stored separately inside two electrolyte storage tanks.

The data and technical information contained in this brochure is intended for our customers and end-users of the product such as:

- Technicians
- Chemists
- Physicists
- Electrochemists
- Metallurgists
- Engineers

ÉLECTROLYTE DE VANADIUM

VANALYTE^{MC} et SuperVANALYTE^{MC}



1. INTRODUCTION

Depuis 2018, la compagnie canadienne **ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC.** basée à Montréal, produit à ses installations situées à Boucherville, Québec, des solutions électrolyte de vanadium utilisant son procédé électrochimique en attente de brevet.

En effet Les batteries à flux redox au vanadium (VRFB) sont des accumulateurs rechargeables qui utilisent des électrolytes aqueux contenant des cations de vanadium dans quatre états d'oxydation différents pour stocker l'énergie électrochimique. Le grand avantage des batteries à flux redox au vanadium par rapport à d'autres sources d'alimentation électriques réside dans le fait que la puissance électrique est liée à la configuration de la cellule, tandis que l'énergie est stockée séparément à l'intérieur des deux réservoirs de stockage d'électrolyte.

Les renseignements et l'information technique contenue dans cette brochure sont destinés à nos clients et utilisateurs du produit:

- Techniciens
- Chimistes
- Physiciens
- Électrochimistes
- Métallurgistes
- Ingénieurs

VANADIUM EQUIMOLAR ELECTROLYTE SOLUTION (VANALYTE)

©2019 **ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC.**



VERSATILE - COST EFFECTIVE – EQUILIBRATED – BALANCED - STABILIZED

[V(IV)]/[V(III)] = 0.95 to 1.05 (mol/mol)		MASS DENSITY: 1,320 to 1,460 kg/m ³	
DYNAMIC VISCOSITY: 1.5 – 2.5 mPa.s		CONDUCTIVITY: 280 – 360 mS/cm	
• VOSO ₄ [27774-13-6]	129 – 140 g/L	9.3 – 9.7 wt. %	0.80 M – 0.90 M
• V ₂ (SO ₄) ₃ [13701-70-7]	155 – 167 g/L	11.2 – 11.7 wt. %	0.40 M – 0.45 M
• H ₂ SO ₄ (free) [7664-93-9]	195 – 285 g/L	14.4 – 19.5 wt. %	2.0 M – 3.0 M
• VANADIUM (total)	81 – 90 g/L	6.0 – 6.5 wt. %	1.6 M – 1.8 M
• H ₃ PO ₄ (free) [7664-38-2]	0.0 – 11.0 g/L	0.0 – 0.75 wt. %	0.00 M – 0.11 M
ADDITIVES: upon request		COLOR: BLUE-GREEN	PACKING GROUP: II
UN NUMBER: 3264		TDG/IMDG/ICAO/IATA:	Class 8



SOLUTION D'ÉLECTROLYTE DE VANADIUM ÉQUIMOLAIRE (VANALYTE)



VANADIUM ELECTROLYTE

VANALYTE™ and SuperVANALYTE™

2. BACKGROUND

Since 2018, the Montreal-based Canadian corporation **ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC.** produces at its facilities located in Boucherville, Québec, all vanadium equimolar battery electrolyte solutions (Vanalyte™ and SuperVanalyte™) which are used in vanadium redox flow batteries (VRFB).

The modular vanadium electrolyte production unit that has been proven at the commercial scale has a nameplate production capacity of equimolar all vanadium redox flow battery electrolyte solution ranging from 100 Liters per day (26.4 gallons per day) up to 685 L per day (180 gallons per day) by combining **FlowPRO III** and **FlowPRO IV** units together. Soon this nameplate capacity would be increased up to 1000 Liters per day (264 gallons per day) by building and adding additional unit mounted onto a skid which is under current assessment.

Electrochem's proprietary and patent pending technology consists to perform the electrochemical reduction of a slurry of vanadium pentoxide (i.e., slurry electrolysis). The one step electrochemical process is highly efficient and it does not generate any by-products nor release deleterious impurities as no organic nor inorganic reducing chemicals are used.

Our competitive technical and economic advantages rely on proprietary electrolyzer design and electrode materials and customized long lasting membranes. The result is a robust and low-cost production processing route yielding pure vanadium electrolyte solutions suitable for the vanadium redox flow battery (VRFB).

ÉLECTROLYTE DE VANADIUM

VANALYTE^{MC} et SuperVANALYTE^{MC}

2. FONDEMENTS

Depuis 2018, la compagnie canadienne **ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIAUX INC.** basée à Montréal, produit à ses installations situées à Boucherville, Québec, des solutions d'électrolyte équimolaire de vanadium (Vanalyte™ and SuperVanalyte™) destinées aux accumulateurs de type flux redox.

L'unité modulaire de production d'électrolyte de vanadium qui a fait ses preuves à l'échelle commerciale possède une capacité de production nominale de 100 Litres par jour (26.4 gallons par jour) et jusqu'à 685 Litres par jour (180 gallons par jour) en combinant ensemble plusieurs unités de type **FlowPro III** et **FlowPro IV**. Cette capacité nominale devrait être augmentée jusqu'à atteindre bientôt 1000 Litres par jour (264 gallons par jour) en utilisant une installation plus grande montée sur une plateforme qui est présentement en évaluation.

La technologie exclusive d'Electrochem en attente de brevet consiste à effectuer la réduction électrochimique d'une suspension de pentoxyde de vanadium. Ce procédé électrochimique en une seule étape est hautement efficace et ne génère aucun sous-produit ni ne libère aucunes impuretés néfastes, car aucun agent réducteur organique ou inorganique n'est utilisé.

Nos avantages compétitifs tant techniques qu'économiques résident dans la conception de nos électrolyseurs, nos matériaux d'électrodes et nos membranes. Cette approche permet une production rapide et très peu coûteuse donnant des solutions d'électrolytes au vanadium pures adaptées aux batteries à circulation redox au vanadium (VRFB).



OUR FACILITIES





VANADIUM ELECTROLYTE

VANALYTE™ and SuperVANALYTE™

3. ELECTROCHEMICAL MODULAR UNITS FOR THE PRODUCTION OF VANADIUM ELECTROLYTES

These robust and cost affordable electrochemical units are built around our **FLOWPRO III** and **FLOWPRO IV** electrolyzer. The total electrode surface area ranges from two square feet (0.186 m²) up to ten square feet (0.929 m²). They were used initially for piloting trials and then for the commercial production of vanadium redox flow battery electrolyte.

- **Design:** rectangular plates and frames with balancing unit.
- **Construction material:** polyvinylchloride (PVC), chlorinated-polyvinyl chloride (CPVC), polypropylene (PP).
- **Piping material and size:** CPVC and PVC [NPS Schedule #80].
- **Configuration:** divided by membranes in multiple compartments.
- **Electrodes:** plates, three-dimensional (mesh and expanded metals).
- **Gasketing:** EPDM or fluoro-elastomers PVHF (VITON®).
- **Flow circulation:** flow-by, flow-through, distributors, turbulence promoters, and serpentine.
- **Electrodes assembly:** monopolar or bipolar stacks.
- **Back plates:** aluminum 6061 T6, stainless steel AISI 316 tie rods and Belleville compression springs.
- **Cooling:** coiled immersed chillers and plate heat exchanger.
- **Pumping:** air-operated diaphragm pumps.
- **Mixing:** inert gas sparging, impeller, in-line static mixer.
- **Electrolyte holding tanks:** 2 x 5 US gallons up to 2 x 30 US gallons.
- **Instrumentation:** pH, ORP, temperature, toroidal conductivity probes, pressure gauges, and rotameters.
- **Electrical connection:** copper C101 busbars
- **Wiring:** copper cables AWG. "4/0" up to 350 kcmil and 500 kcmil
- **Use:** indoor unit mounted on heavy duty cart or skid with spill containment trays.

ÉLECTROLYTE DE VANADIUM

VANALYTE^{MC} et SuperVANALYTE^{MC}

3. UNITÉS ÉLECTROCHIMIQUES MODULAIRES POUR LA PRODUCTION D'ÉLECTROLYTES DE VANADIUM

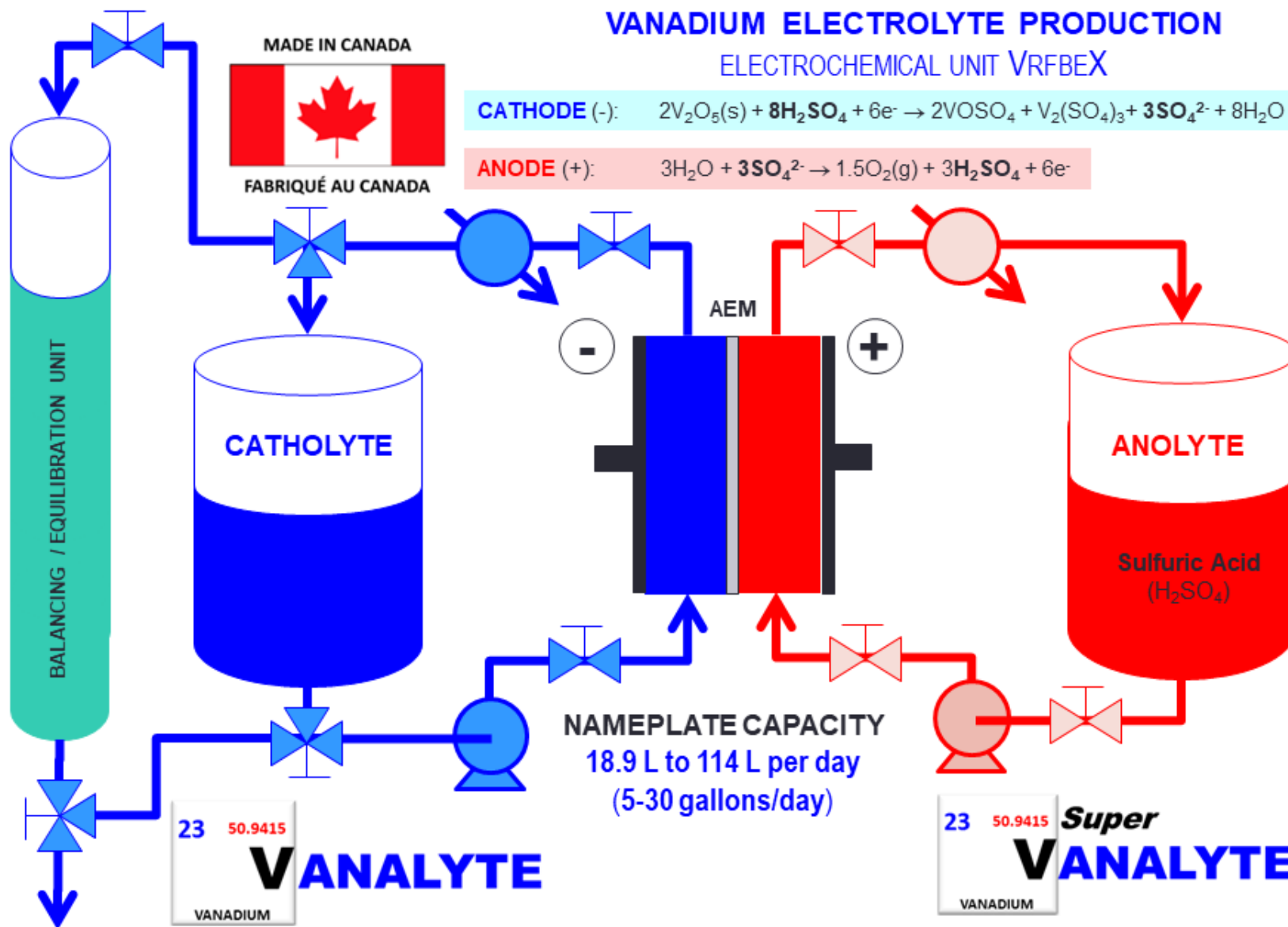
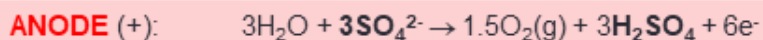
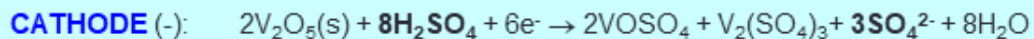
Ces unités électrochimiques simples et robustes sont construites à partir de nos électrolyseurs **FLOWPRO III** et **FLOWPRO IV**. La surface totale d'électrode varie de deux pieds carrés (0.186 m²) jusqu'à dix pieds carrés (0.929 m²). Ces unités pilotes initialement construites pour des essais sont utilisées désormais pour la production commerciale.

- **Conception:** rectangulaire avec plaques avec une unité d'équilibrage.
- **Matériaux de construction:** chlorure de polyvinyle (CPV), chlorure de polyvinyle chloré (CPV-C), polypropylène (PP)
- **Tuyauterie:** CPV et CPV-C [NPS Cédule #80].
- **Configuration:** séparation par membrane en plusieurs compartiments
- **Électrodes:** plaques, grillage, métal déployé.
- **Joints d'étanchéité:** EPDM, élastomères fluorés (VITON®).
- **Circulation interne:** flux parallèle, flux transversal, promoteurs de turbulence, serpentins.
- **Empilement:** mono polaires ou bipolaires.
- **Plaques de maintien:** aluminium 6061, tiges de maintien en acier inoxydable 316 avec ressorts Belleville.
- **Refroidissement:** échangeur de chaleur immergés.
- **Pompage:** pompe à diaphragme,
- **Agitation:** bullage de gaz, agitateur, mélangeur statique.
- **Réservoir d'électrolyte:** de 2 x 18.9 Litres à 2 x 116 Litres.
- **Instrumentation:** sondes de pH, d'ORP, de température, de conductivité, jauges de pression et rotamètres.
- **Connexion électrique:** barre équipotentielle en cuivre C101
- **Câblage:** câbles AWG. No. "4/0" jusqu'à 350 kcmil et 500 kcmil
- **Utilisation:** unité pour usage intérieur sur charriot ou plateforme avec plateau contre les déversements.



VANADIUM ELECTROLYTE PRODUCTION

ELECTROCHEMICAL UNIT VRFBEX





VANADIUM ELECTROLYTE

VANALYTE™ and SuperVANALYTE™

4. SPECIFICATION and COMPOSITIONS



RANGES OF CHEMICAL COMPOSITION & PROPERTIES OF EQUIMOLAR VANADIUM ELECTROLYTE SOLUTIONS (1.6M, 1.7M, 1.8M, 2.0M, 3.0M)

EQUIMOLAR VANADIUM ELECTROLYTE SOLUTION (VANALYTE)

[V(IV)]/[V(III)] = 0.95 to 1.05 (mol/mol)		MASS DENSITY: 1,320 to 1,460 kg/m ³	
DYNAMIC VISCOSITY: 1.5 – 2.5 mPa.s		CONDUCTIVITY: 280 – 360 mS/cm	
• VOSO ₄ [27774-13-6]	129 – 140 g/L	9.3 – 9.7 wt %	0.80 M – 0.90 M
• V ₂ (SO ₄) ₃ [13701-70-7]	155 – 167 g/L	11.2 – 11.7 wt %	0.40 M – 0.45 M
• H ₂ SO ₄ (free) [7664-93-9]	195 – 285 g/L	14.4 – 19.5 wt %	2.0 M – 3.0 M
• VANADIUM (total)	81 – 90 g/L	6.0 – 6.5 wt %	1.6 M – 1.8 M
• H ₃ PO ₄ (free) [7664-38-2]	0.0 – 11.0 g/L	0.0 – 0.75 wt %	0.00 M – 0.11 M
ADDITIVES: upon request	COLOR: BLUE-GREEN	PACKING GROUP: II	
UN NUMBER: 3264	TDG/IMDG/CAO/IATA:	Class 8	

ÉLECTROLYTE DE VANADIUM

VANALYTE^{MC} et SuperVANALYTE^{MC}

4. CARACTERISTIQUES et COMPOSITIONS



COMPOSITION CHIMIQUE ET PROPRIÉTÉS DES SOLUTIONS ÉQUIMOLAIRES D'ÉLECTROLYTE DE VANADIUM (1.6M, 1.7M, 2.0M, 3.0M)

SOLUTION EQUIMOLAIRE D'ÉLECTROLYTE DE VANADIUM (VANALYTE)

[V(IV)]/[V(III)] = 0.95 to 1.05 (mol/mol)		MASSE VOLUMIQUE: 1,340-1,460 kg/m ³	
VISCOTÉ DYNAMIQUE: 1.5 – 2.5 mPa.s		CONDUCTIVITÉ: 280 – 360 mS/cm	
• VOSO ₄ [27774-13-6]	129 – 140 g/L	9.3 – 9.7 % (m/m)	0.80 M – 0.90 M
• V ₂ (SO ₄) ₃ [13701-70-7]	155 – 167 g/L	11.2 – 11.7 % (m/m)	0.40 M – 0.45 M
• H ₂ SO ₄ (libre) [7664-93-9]	195 – 285 g/L	14.4 – 19.5 % (m/m)	2.0 M – 3.0 M
• VANADIUM (total)	81 – 90 g/L	6.0 – 6.5 % (m/m)	1.6 M – 1.8 M
• H ₃ PO ₄ (libre) [7664-38-2]	0.0 – 11.0 g/L	0.0 – 0.75 % (m/m)	0.00 M – 0.11 M
ADDITIFS: sur demande	COULEUR: BLEU-VERT	GROUPE D'EMBALLAGE: II	
NUMÉRO UN: 3264	TDG/IMDG/CAO/IATA:	Classe 8	





VANADIUM ELECTROLYTE (VANALYTE & SuperVANALYTE)

5. BENEFITS and ADVANTAGES

Simplicity and Robustness. - By contrast to the conventional chemical process requiring several consecutive steps and the utilization of expensive organic and inorganic reducing agents which often results in the contamination of the electrolyte by deleterious impurities, Electrochem's slurry electrolysis process is simple, robust and efficient.

Low Production Costs. - As only technical grade vanadium pentoxide, concentrated sulfuric acid, deionized water and electricity are required for the electrochemical reduction process, our production costs are significantly lower compared to other manufacturers because in Quebec we have access to affordable hydroelectricity and we purchase technical grade V_2O_5 .

Competitiveness. - The fabrication and utilization of our own electrode materials with customized properties allow to operate under high current density with a minimum cell voltage and high Faradaic current efficiency hence reducing the specific energy consumption and increasing hourly productivity rate.

Modular design. - Our vanadium electrolyte production system is modular and it can be installed onto a skid and containerized to be shipped at client location to be operated on-site during refueling of his VRFB systems.

The important features of ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC. all-vanadium equimolar electrolyte solutions for energy storage are:

- * Customized energy density and Cost effective
- * Versatile and Long shelf life
- * Balanced (Equilibrated) and Stabilized
- * Low current or cell voltage fluctuation
- * No organic content or deleterious impurities

See Safety Data Sheet below for Health Effects and Precautions for Use

ÉLECTROLYTE DE VANADIUM VANALYTE^{MC} et SuperVANALYTE^{MC}

5. ATOUTS et ADVANTAGES

Simplicité et Robustesse. - Contrairement au procédé chimique conventionnel nécessitant plusieurs étapes consécutives et l'utilisation d'agents réducteurs organiques et inorganiques coûteux qui aboutissent souvent à la contamination de l'électrolyte par des impuretés nuisibles, le procédé d'électrolyse en suspension d'Electrochem est simple, robuste et efficace.

Faible coût de production. - Comme seuls du pentoxyde de vanadium de pureté technique, de l'acide sulfurique concentré, de l'eau déminéralisée et de l'électricité sont nécessaires au processus de réduction électrochimique, nos coûts de production sont inférieurs à nos concurrents, grâce à une hydroélectricité très abordable au Québec.

Compétitivité. - La fabrication et l'utilisation de nos propres matériaux d'électrodes permettent de fonctionner sous une densité de courant très élevée avec une tension de cellule minimale et un rendement en courant élevé, réduisant ainsi la consommation d'énergie spécifique et augmentant la productivité horaire.

Conception modulaire. - Notre système de production d'électrolyte est modulaire et peut être installé sur une bâti mobile et conteneurisé pour être expédié sur le site du client afin d'être utilisé lors du ravitaillement.

Les caractéristiques des solutions électrolytiques de vanadium pour le stockage d'énergie d'ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC. sont:

- * Densité d'énergie et moindre coût
- * Versatile et longue durée de vie
- * Solutions équilibrées et stabilisées
- * Faible fluctuation de courant ou de tension de cellule
- * Pas de matière organique ou d'impuretés néfastes

Consultez la fiche de données de sécurité pour connaître les effets sur la santé et les précautions d'emploi.



VANADIUM ELECTROLYTE SOLUTIONS (VANALYTE and SUPERVANALYTE)



SOLUTIONS D'ELECTROLYTE DE VANADIUM (VANALYTE et SUPERVANALYTE)





VANADIUM ELECTROLYTE

VANALYTE™ and SuperVANALYTE™

6. RECYCLING VANADIUM ELECTROLYTES

We are exploring the recycling, the reprocessing, the refurbishing and the purification of end-of-life (E-o-L) vanadium electrolyte solutions in order to remove all deleterious metallic impurities, to remove particulates solids, to destroy organic contaminants, to adjust the chemical composition and to perform the reprocessing and balancing. We have identified hundred of unusual impurities some never reported in the literature that were traced back either to the source of raw material processed (e.g., vanadium, sulfuric acid, water) or the degradation products of VRFB stack materials or even to the construction materials used or specifications for storage tanks (e.g., plasticizers, catalysts).

A separate compact production unit is used to address these specific needs especially to avoid the risk of cross-contamination between the fresh and spent vanadium electrolyte batches. This project is also included in our extensive in-house R&D program as we aim to explore and develop new purification and reprocessing techniques never used in that field to our knowledge.

So far the several piloting campaigns performed allowed us to produce for all cases a fresh and balanced vanadium electrolyte ready to be reused inside a VRFB. If the client wants instead to recover only the vanadium values from the spent electrolyte we were able to extract with a yield of 99% either pure crystals of vanadyl sulfate pentahydrate or to recover high purity vanadium pentoxide both suitable to be utilized as new precursors by the clients. The latter approach is however not favored as all the batches whatever the type of contamination were successfully reprocessed.

ÉLECTROLYTE DE VANADIUM

VANALYTE^{MC} et SuperVANALYTE^{MC}

6. RECYCLAGE DES ELECTROLYTES DE VANADIUM

Nous explorons le recyclage, le reconditionnement et la purification des solutions d'électrolytes au vanadium en fin de vie afin d'éliminer toutes les impuretés métalliques nuisibles, d'éliminer les particules solides, de détruire les contaminants organiques, d'ajuster la composition chimique et d'effectuer les rééquilibrage. Ces centaines d'impuretés inhabituelles dont certaines n'ont jamais été signalées dans la littérature et qui remontent à la source des matières premières traitées (e.g. vanadium, acide sulfurique, eau déminéralisée) ou aux produits de dégradation des matériaux de la batterie VRFB ou même aux matériaux de construction utilisés pour réservoirs de stockage (p. ex. plastifiants, catalyseurs).

Une unité de production compacte séparée est utilisée pour répondre à ces besoins spécifiques, afin d'éviter le risque de contamination croisée entre les lots d'électrolytes produits et ceux qui ont été recyclés. Ce projet est également inclus dans notre nouveau programme de recherche et développement dans le but d'explorer et de développer de nouvelles techniques de purification.

A date, les essais pilotes on permit de produire un électrolyte neuf quelque soit la nature et le niveau de la contamination. Cependant, sur demande d'un client nous avons aussi effectué la récupération totale des valeurs de vanadium ou de produire des précurseurs purs directement réutilisables dans l'industrie du vanadium comme le pentoxyde de vanadium ou les cristaux de sulfate de vanadyle.



VANADIUM ELECTROLYTE

VANALYTE™ and SuperVANALYTE™



7. COMMERCIAL STRATEGY

Commercial Strategy - We are exploring the possibility for establishing a vanadium electrolyte distribution network overseas. Negotiations are also underway with vanadium producers, VRFB manufacturers regarding a vertically integrated model and the possible commercial transfer of the technology to selected customers inking a business contract with financial requirements and monetary down payments resembling a patent license agreement.

Financial Model - While most very large scale vanadium electrolyte producers are today aiming towards a vanadium electrolyte leasing model to level the price volatility and to mitigate the cost of vanadium electrolyte for the lessee we are not considering that option at all and we sell the product instead. Actually, first the vanadium electrolyte is classified as a hazardous chemical and the legal liability risk of the lessor is too high in case a spill of a leased vanadium electrolyte occurs at the lessee facilities or if the lessee is not complying with enforced safety and health regulations. Secondly, the insolvency risk in case of bankruptcy of the lessee and then the technical complications and the costs for recovering the vanadium electrolyte precludes irretrievably that financial model.

ÉLECTROLYTE DE VANADIUM

VANALYTE^{MC} et SuperVANALYTE^{MC}



7. STRATÉGIE COMMERCIALE ÉLECTROLYTE DE VANADIUM

Stratégie commerciale - Établir un réseau de distribution d'électrolytes au vanadium à l'étranger. Des négociations sont également en cours avec des producteurs de vanadium établis et des fabricant de VRFB concernant une intégration verticale et la possibilité de transférer la technologie à des clients sélectionnés ayant un contrat commercial assorti d'obligations financières et garanties monétaires pouvant ressembler à un contrat de licence de brevet.

Modèle financier - Alors que la plupart des grands producteurs d'électrolytes au vanadium envisagent aujourd'hui de mettre en place un modèle de crédit-bail pour aplanir la volatilité des prix et atténuer le coût de d'électrolytes au vanadium pour le contrat de location, nous n'envisageons pas cette option et vendons le produit à la place. En effet, l'électrolyte de vanadium est classé comme produit chimique dangereux et le risque de responsabilité légale du bailleur est trop élevé en cas de déversement d' électrolyte loué dans les installations du locataire ou si le locataire ne respecte pas les règles de sécurité et de santé en vigueur. Deuxièmement, le risque d'insolvabilité en cas de faillite du locataire et la complication et les couts du recouvrement de l' électrolyte de vanadium excluent irrémédiablement ce modèle financier.



VANADIUM ELECTROLYTE

VANALYTE™ and SuperVANALYTE™

8. SAFETY DATA SHEET (SDS)

Available upon commercial inquiry only



ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC. Industrial Electrochemistry – Electrochemical Processes – Materials www.electrochem-technologies.com		SAFETY DATA SHEET (SDS) VANADIUM EQUIMOLAR ELECTROLYTE SOLUTION (VANALYTE)																									
SAFETY DATA SHEET (SDS) According to WHMIS 2015																											
VANADIUM EQUIMOLAR ELECTROLYTE SOLUTION (VANALYTE)																											
1. PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION																											
Trade name:	VANADIUM EQUIMOLAR ELECTROLYTE SOLUTION (VANALYTE)																										
Application and commercial uses of substance/mixture:	Scientific research and development, electrolyte equimolar solution used for vanadium redox flow batteries (VRFB)																										
Manufacturer/Supplier	ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC.																										
Address	HEAD OFFICE Street: 2037 AIRD AVENUE, SUITE 201 City: MONTREAL Province/State: QUEBEC Postal/Zip Code: H1V 2V9 Country: CANADA Telephone: +1 (514) 251-9909 (8:00PM to 3:00PM) Email: contact@electrochem-technologies.com MANUFACTURING SITE Street: 75 BOULEVARD DE MORTAGNE C.P. 112 City: BOUCHERVILLE Province/State: QUEBEC Postal/Zip Code: J4B 6Y4 Country: CANADA																										
Emergency numbers (24 hours/7 days)	CANADA: CANUTEC +1-613-996-6666 USA: CHEMTREC +1-800-424-9300 (CCN837708) +1-703-527-3887 (CCN837708)																										
2. HAZARD(S) IDENTIFICATION																											
GHS Classification of the substance or mixture	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>Met. Corr. 1</td> <td>H290 May be corrosive to metals.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Skin Corr. 1C</td> <td>H314 Causes severe skin burns and eye damage.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Eye Dam. 1</td> <td>H318 Causes serious eye damage.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Carc. 1A</td> <td>H350 May cause cancer.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Repr. 2</td> <td>H361 Suspected of damaging fertility or the unborn child. Route of exposure: Oral</td> </tr> <tr> <td></td> <td>STOT RE 1</td> <td>H372 Causes damage to the respiratory system through prolonged or repeated exposure. Route of exposure: Inhalation.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Aquatic Acute 3</td> <td>H402 Harmful to aquatic life.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Aquatic Chronic</td> <td>H412 Harmful to aquatic life with long lasting effects</td> </tr> </table>				Met. Corr. 1	H290 May be corrosive to metals.		Skin Corr. 1C	H314 Causes severe skin burns and eye damage.		Eye Dam. 1	H318 Causes serious eye damage.		Carc. 1A	H350 May cause cancer.		Repr. 2	H361 Suspected of damaging fertility or the unborn child. Route of exposure: Oral		STOT RE 1	H372 Causes damage to the respiratory system through prolonged or repeated exposure. Route of exposure: Inhalation.		Aquatic Acute 3	H402 Harmful to aquatic life.		Aquatic Chronic	H412 Harmful to aquatic life with long lasting effects
	Met. Corr. 1	H290 May be corrosive to metals.																									
	Skin Corr. 1C	H314 Causes severe skin burns and eye damage.																									
	Eye Dam. 1	H318 Causes serious eye damage.																									
	Carc. 1A	H350 May cause cancer.																									
	Repr. 2	H361 Suspected of damaging fertility or the unborn child. Route of exposure: Oral																									
	STOT RE 1	H372 Causes damage to the respiratory system through prolonged or repeated exposure. Route of exposure: Inhalation.																									
	Aquatic Acute 3	H402 Harmful to aquatic life.																									
	Aquatic Chronic	H412 Harmful to aquatic life with long lasting effects																									

Last revised: 2019-09-27

Page 1 of 9

8. FICHE DE DONNÉES DE SÉCURITÉ (FDS)

Disponible seulement sur demande commerciale



ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIAUX INC. Électrochimie industrielle – Procédés électrochimiques – Matériaux www.electrochem-technologies.com		FIGHE DE DONNÉES DE SÉCURITÉ SOLUTION D'ELECTROLYTE DE VANADIUM EQUIMOLAIRE (VANALYTE)	
FIGHE DE DONNÉES DE SÉCURITÉ (FDS) SOLUTION D'ELECTROLYTE DE VANADIUM EQUIMOLAIRE (VANALYTE)			
1. 1. IDENTIFICATION DE LA SUBSTANCE/DE LA PRÉPARATION ET DE LA SOCIÉTÉ/L'ENTREPRISE			
Nom du produit:	SOLUTION D'ELECTROLYTE DE VANADIUM EQUIMOLAIRE (VANALYTE)		
Utilisation recommandée et applications commerciales:	Recherche scientifique, séparation des minéraux par densité liquides lourds, minéralogie, catalyse, biologie, liquides pour contraste		
Producteur/Fournisseur:	ÉLECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIAUX INC.		
Adresse	SIÈGE SOCIAL Rue: 2037 AVENUE AIRD, SUITE 201 Ville: MONTREAL Province/État: QUÉBEC Code postal: H1V 2V9 Pays: CANADA Téléphone: +1 (514) 251-9909 (9h00-17h00) Courriel: contact@electrochem-technologies.com SITE DE FABRICATION Rue: 75 BOULEVARD DE MORTAGNE C.P. 112 Ville: BOUCHERVILLE Province/État: QUÉBEC Code postal: J4B 6Y4 Pays: CANADA		
Numéros d'urgence (24 heures/7 jours)	CANADA: CANUTEC +1-613-996-6666 USA: CHEMTREC +1-800-424-9300 (CCN837708) +1-703-527-3887 (CCN837708)		
2. IDENTIFICATION DES DANGERS			
Classification de la substance ou du mélange selon le SGH		Corrosion Métaux 1	H290 Peut être corrosif pour les métaux.
		Corrosion/Irritation cutanée 1C	H314 Provoque de graves brûlures de la peau et de graves lésions des yeux.
		Domages oculaires 1	H318 Provoque de graves lésions oculaires.
		Cancérogène 1A	H350 Peut causer le cancer.
		Reproduction 2	H361 Susceptible de nuire à la fertilité ou au fœtus. Voie d'exposition: Orale
		STOT RE 1	H372 Risques avérés d'effets graves à l'appareil respiratoire à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée. Voie d'exposition: Inhalation.
		Aquatique Sévère 3	H402 Toxique pour la vie aquatique.
		Aquatique Chronique	H412 Nocif pour la vie aquatique avec des effets à long terme.

Date de révision: 27 septembre 2019

Page 1 of 10



VANADIUM ELECTROLYTE

VANALYTE™ and SuperVANALYTE™



8. PACKAGING & STORAGE

Shelf life of 5 years for the vanadium electrolyte stored inside the original container when stored at room temperature under inert gas blanketing of pure nitrogen gas or argon gas.

Vanadium electrolyte solutions are sold in small UN-rated PP, LDPE or HDPE containers:

- * 4-L jugs
- * 2.5-gallon jerrican [UN 3H1/Y1.6/150]
- * 5.0-gallon jerrican [UN 3H1/Y1.8/150]
- * 15-gallon drum [UN 1H1/Y1.8/100]

Available soon also in larger UN-rated HDPE containers:

- * 30-gallon drum [UN 1H2/Y180/S]
- * 55-gallon drum [UN 1H1/Y1.9/100]
- * 275-gallon tote tank Fluid International Bulk Container (FIBC) [UN 31HA1/Y]
- * 330-gallon tote tank Fluid International Bulk Container (FIBC) [UN 31HA1/Y]

Customized containers and other packing sizes upon request.

ÉLECTROLYTE DE VANADIUM

VANALYTE^{MC} et SuperVANALYTE^{MC}



8. EMBALLAGE & ENTREPOSAGE

Durée d'entreposage de 5 ans de l'électrolyte de vanadium lorsque entreposée dans le contenant d'origine lorsque stocké à la température ambiante et sous une atmosphère inerte d'argon ou d'azote.

Les solutions aqueuses sont contenues dans des contenant plastiques en PP, LDPE ou HDPE:

- * Bouteilles de 4 Litres
- * Jerricans de 10 Litres [UN 3H1/Y1.6/150]
- * Jerricans de 20 Litres [UN 3H1/Y1.8/150]
- * Baril de 57 Litres [UN 1H1/Y1.8/100]

Bientôt disponible en barils HDPE de:

- * Fût de 113 Litres [UN 1H2/Y180/S]
- * Fût de 208 Litres [UN 1H1/Y1.9/100]
- * Réservoir GRV de 1040 Litres [UN 31HA1/Y]
- * Réservoir GRV de 1250 Litres [UN 31HA1/Y]

Contenants et autres quantités sur demande.



VANADIUM ELECTROLYTE

VANALYTE™ and SuperVANALYTE™

ÉLECTROLYTE DE VANADIUM

VANALYTE^{MC} et SuperVANALYTE^{MC}

9. MATERIALS SOURCING POLICY

Sometimes, concentrates of columbite-tantalite, pyrochlore, scheelite and wolframite originating from Central Africa and South America are mined and sold illegally and referred to as “**Conflict Minerals**”. Some of these Conflict Minerals can make their way into the supply chains of the products used around the world.

Therefore it is a **strict policy** at ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC. to **avoid sourcing and purchasing** Conflict Minerals from conflict-affected regions and high-risk areas as defined by OECD guidance.

Therefore, as part of ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC. commitment to corporate responsibility and respecting human rights, ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC. **refuses to purchase suspicious material that could be possibly linked to Conflict Minerals** and only purchases raw materials and residues originating from Canada, The United States (USA), and the Europe Union (EU) from well established traders in the mining industry that are in good standing regarding such regulations.

Moreover as some niobium and tantalum concentrate sometimes could contain naturally occurring radioactivity materials (NORM) originating from their natural content of thorium and uranium and their decaying radionuclides that are classified by United Nations (UN) as Radioactive Dangerous Goods of Class 7 ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC. is **NOT permitted to process nor to purchase radioactive materials** and therefore it will require from potential suppliers to comply and to provide an official certificate that guarantee that the raw materials are not classified as radioactive nor they contains harmful impurities above regulation limits such as but not restricted to: Cd, Hg, As, Sb, Bi, Se, Te, Pb, Tl.

In support of this sourcing policy, ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC. exercises responsible due diligence with potential suppliers and encourages its current suppliers to do likewise with their suppliers. ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC. provides and expects its suppliers to cooperate fully in providing certificate of origin to confirm that none of the products in its supply chain contains Conflict Minerals nor is radioactive.

9. POLITIQUE D'APPROVISIONNEMENT

Parfois, des concentrés de columbite-tantalite, de pyrochlore, de scheelite et de wolframite originaires d'Afrique centrale et d'Amérique du Sud sont extraits et vendus illégalement sous le nom de «**minerais de zones de conflit**». Certains de ces minéraux provenant de zone de conflit peuvent se retrouver dans les chaînes d'approvisionnement des produits utilisés dans le monde.

Par conséquent, ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC. a pour politique stricte de **ne pas s'approvisionner et ni d'acheter** des minéraux ou concentrés provenant de régions touchées par les conflits et de zones à haut risque, telles que définies par les directives de l'OCDE.

Par conséquent, dans le cadre de son engagement envers la responsabilité sociale et le respect des droits de la personne, ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC. **refuse d'acheter de la matière première suspecte et susceptible d'être lié à minéraux provenant de zone de conflit** et achète uniquement des matières premières et des résidus provenant du Canada, des États-Unis et de l'Union européenne (UE) auprès d'opérateurs bien établis dans l'industrie minière et en règle vis-à-vis de ces réglementations.

En outre, certains concentrés de niobium et de tantale pouvant parfois contenir des matières de radioactivité d'origine naturelle (MRN) provenant de leur contenu naturel en thorium et en uranium et de leurs descendants radionucléides et sont classés dans la catégorie 7 des matières dangereuses radioactives selon l'ONU. ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC. **n'est pas autorisé à traiter ni à acheter des matières radioactives**. Il sera donc demandé aux fournisseurs potentiels de s'y conformer et de fournir un certificat officiel garantissant que les matières ne sont pas classées comme radioactives ni ne contiennent des impuretés nocives au-delà des seuils réglementaires comme mais ne se limitant pas à: Cd, Hg, As, Sb, Bi, Se, Te, Pb, Tl.

En appui de cette politique d'approvisionnement, ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC. exerce une diligence raisonnable auprès des fournisseurs potentiels et encourage ses fournisseurs actuels à faire de même avec leurs propres fournisseurs. ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC. fournit et attend de ses fournisseurs qu'ils coopèrent pleinement pour fournir un certificat d'origine afin de confirmer qu'aucun des produits de sa chaîne d'approvisionnement ne contient de minerais de conflit et n'est pas radioactif.



VANADIUM ELECTROLYTE
VANALYTE™ and SuperVANALYTE™



ORDERING INFORMATION



For product availability, pricing, bulk orders, quotations, technical inquiries and purchase orders please contact us by email:

sales@electrochem-technologies.com

ÉLECTROLYTE DE VANADIUM
VANALYTE^{MC} et SuperVANALYTE^{MC}



COMMANDER



Pour la disponibilité des produits, le prix de vente, les commandes groupées, les devis, les demandes de renseignements techniques et les commandes, veuillez nous contacter par courriel:

sales@electrochem-technologies.com

ELECTROCHEM TECHNOLOGIES & MATERIALS INC.

HEADOFFICE

2037 AIRD AVENUE, SUITE 201
MONTRÉAL (QC) H1V 2V9
CANADA

R&D LABORATORY & FACILITIES

75 DE MORTAGNE BLVD C.P. 112
BOUCHERVILLE (QC) J4B 6Y4
CANADA

Corporation Number: 794872-7
NEQ: 1167876276