

ANNEXE 1

Données utilisées et détails des calculs réalisés par SystExt

1. Données retenues par filière pour chaque mine « moyenne »

Filière	CHARBON		
Paramètre	Production annuelle d'une mine de charbon « moyenne »		
Produit fini considéré	Charbon traité (concentré et lavé de ses impuretés)		
Critère retenu	Quantité de charbon en tonnes produite par une mine « moyenne » par an		
Valeur retenue	2,26 millions de tonnes		
Date	2014		
Domaine de validité	Données valides en 2014 pour l'exploitation et la concentration du charbon en Pologne		
Données de base	(a) Production de charbon en Pologne : 70 millions de tonnes en 2014 [1] (b) 31 mines de charbon en exploitation en Pologne en 2014 [1]		
Calcul	Soit 70 (millions de tonnes de charbon) / 31 (nombre de mines exploitées) = 2,26 millions tonnes de charbon par mine		
Remarque	Difficile de trouver le nombre de gisements exploités dans le monde d'où le choix d'utiliser les données chiffrées de la Pologne en 2014.		
Source	PUBLICATION DE REFERENCE POUR L'OUTIL : [1] Burchart-Korol et al. (2016). <i>Model of environmental life cycle assessment for coal mining operations</i> , Science of the Total Environment		
Production mondiale	7,7 milliards de tonnes en 2015. La Pologne était alors le dixième producteur mondial de charbon. (https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html)		
Résultats	Quantités d'intrants et d'extrants, calculées par SystExt ¹		
Pour une mine moyenne de charbon par an	Eau (m ³)	440 000	1 cube
	Électricité (kWh)	99 300 000	20 cubes
	Énergies fossiles (kWh)	47 500 000	6 cubes
	Gaz à effet de serre (t eqCO ₂)	995 000	677 cubes
	Déchets miniers (tonnes)	2 100 000	37 cubes
Pour la filière internationale de charbon par an	Eau (millions de m ³)	1 550	2 967 cubes
	Électricité (millions de kWh)	347 000	70 171 cubes
	Énergies fossiles (millions de kWh)	166 000	18 928 cubes
	Gaz à effet de serre (millions de t eqCO ₂)	3 480	2 366 628 cubes
	Déchets miniers (millions de tonnes)	7 300	128 449 cubes

¹ Les calculs d'intrants et d'extrants réalisés par SystExt ont pris en compte une tonne de produit fini (charbon traité ici) puis multiplié par la production annuelle d'une mine de charbon « moyenne » (2,26 millions de tonnes).

Filière	PHOSPHATE		
Paramètre	Production annuelle d'une mine de phosphate « moyenne »		
Produit fini considéré	Concentré de phosphate (minerai traité)		
Critère retenu	Quantité de phosphate en tonnes produite par une mine « moyenne » par an		
Valeur retenue	2,7 millions de tonnes		
Date	2018		
Domaine de validité	Données valides pour plusieurs usines de production de Superphosphates (SPP) dans une région spécifique du Brésil non précisée dans la publication		
Données de base	(a) Production de phosphate des Etats-Unis (3ème producteur mondial après la Chine et le Maroc (y compris Sahara occidental)) : 27 millions de tonnes en 2018 [3] (b) 10 mines de phosphate en exploitation aux USA en 2018 [4]		
Calcul	Soit 27 (millions de tonnes de phosphate) / 10 (nombre de mines exploitées) = 2,7 millions de tonnes de phosphate / mine		
Remarque	Difficile de trouver le nombre total de mines de phosphate dans le monde, d'où le choix d'utiliser les données chiffrées des États-Unis en 2018.		
Sources	<p>[3] US Geological Survey : https://www.usgs.gov/centers/nmic/phosphate-rock-statistics-and-information</p> <p>[4] U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, February 2019 : https://prd-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/mcs-2019-phosp.pdf</p> <p>PUBLICATION DE REFERENCE POUR L'OUTIL : G. Anderi Silva et L. Alexandre Kulay (2003) <i>Application of life cycle assessment to the LCA case studies single superphosphate production</i>, The International Journal of Life Cycle Assessment²</p>		
Production mondiale	270 millions de tonnes en 2018 [3]		
Résultats	Quantités d'intrants et d'extrants, calculées par SystExt ³		
Pour une mine moyenne de phosphate par an	Eau (m ³)	21 700 000	42 cubes
	Électricité (kWh)	250 000 000	52 cubes
	Énergies fossiles (kWh)	223 000 000	25 cubes
	Gaz à effet de serre (t eqCO ₂)	103 000	70 cubes
	Déchets miniers (tonnes)	30 100 000	544 cubes
Pour la filière internationale de phosphate par an	Eau (millions de m ³)	2 164	4 146 cubes
	Électricité (millions de kWh)	25 500	5 158 cubes
	Énergies fossiles (millions de kWh)	22 350	2 547 cubes
	Gaz à effet de serre (millions de t eqCO ₂)	10	7 039 cubes
	Déchets miniers (millions de tonnes)	3 088	54 371 cubes

² L'étude inclue les étapes d'exploitation de la roche phosphatée, la concentration du phosphate, la production d'acide sulfurique, la fabrication du superphosphate (SSP) et le transport associé à ces étapes.

³ Les calculs d'intrants et d'extrants réalisés par SystExt ont pris en compte une tonne de produit fini (concentré de phosphate) puis multiplié par la production annuelle d'une mine de phosphate « moyenne » (2,7 millions de tonnes).

Filière	OR		
Paramètre	Production annuelle d'une mine d'or « moyenne »		
Produit fini considéré	Lingots à 90% or et 10% argent		
Critère retenu	Quantité d'or en tonnes produite par une mine « moyenne » par an		
Valeur retenue	15,9 tonnes		
Date	2015		
Données de base	(a) 3 165 tonnes d'or produites en 2015 dans le monde [2] (b) 199 gisements en exploitation en 2015 dans le monde [2]		
Calcul	Soit 3165 (tonnes) / 199 (nombre de gisements exploités) = 15,9 tonnes d'or par mine		
Sources	[2] P. Croharé (2016) <i>Etat de production et de la demande d'or en 2016 ou vers une pénurie d'or physique et une hausse record des cours de l'or ?</i> PUBLICATION DE REFERENCE POUR L'OUTIL : T. Norgate et N. Haque (2012). <i>Using life cycle assessment to evaluate some environmental impacts of gold production</i> , Journal of Cleaner Production ⁴		
Production mondiale	3 165 tonnes d'or produites en 2015 [2]		
Résultats	Quantités d'intrants et d'extrants, calculées par SystExt ⁵		
Pour une mine moyenne d'or par an	Eau (m ³)	4 120 000	8 cubes
	Électricité (kWh)	152 000 000	31 cubes
	Énergies fossiles (kWh)	29 000 000	3 cubes
	Gaz à effet de serre (t eqCO ₂)	279 000	190 cubes
	Déchets miniers (tonnes)	21 400 000	354 cubes
Pour la filière internationale d'or par an	Eau (millions de m ³)	821	1 572 cubes
	Électricité (millions de kWh)	30 306	6 130 cubes
	Énergies fossiles (millions de kWh)	5 767	657 cubes
	Gaz à effet de serre (millions de t eqCO ₂)	56	37 833 cubes
	Déchets miniers (millions de tonnes)	4 003	70 476 cubes

⁴ Données ratio stérile/minerais de 3 et teneurs moyennes de 3,5 g/t d'or et 0,6 g/t d'argent : moyennées pour les mines d'or dans le monde, représentant l'exploitation dans les pays industrialisés (Australie, Canada, Afrique du Sud et États-Unis).

⁵ Les calculs d'intrants et d'extrants réalisés par SystExt ont pris en compte une tonne de produit fini (lingots à 90% or et 10% argent, ici) puis multiplié par la production annuelle d'une mine d'or « moyenne » (15,9 tonnes).

2. Description des calculs réalisés pour les intrants et les extrants

2.1. Conversion des unités par type d'intrants/extrants

Eau		Équivalences
1 m ³		1 000 kg = 1 tonne
Électricité		Équivalences
1 kWh		3,6 MJ
1 MJ		0,277778 kWh
Énergies fossiles		Équivalences
1 m ³ de diesel		Densité considérée du diesel : 0,84 ; Energie obtenue par kg de diesel : 43 MJ/kg 10 033,41 kWh
1 kg de diesel		10,03341 kWh
1 MJ = 0,001 GJ		0,277778 kWh
GES		Équivalences
1 tonne équivalent CO ₂		0,001 kg équivalent CO ₂
Déchets		Équivalences
1 tonne		1000 kg = 1 Mg

2.2. Calculs détaillés : Filière Charbon

Tableau 2.2.1. Synthèse méthodologique

Filière	Charbon
Publication	Burchart-Korol, et al. (2016). Model of environmental life cycle assessment for coal mining operations, Science of the Total Environment
Données de base	<p>Les données brutes sont classées en 4 étapes nécessaires pour l'exploitation et le traitement du minerai de charbon :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Procédés préparatoires - Procédés fondamentaux - Procédés auxiliaires - Procédés inhérents à l'activité minière <p>Chaque type de procédés est ensuite divisé en sous-unités de procédés, avec des intrants et extrants nécessaires à chaque sous-unité. Ces données sont présentées dans 4 tableaux (tableaux 2.2.2 à 2.2.5 ci-dessous). La séparation entre les procédés relatifs à l'exploitation (mine) et au traitement du minerai (usine) s'est basée sur l'expérience de SystExt pour chaque sous-unité de procédé. Le tableau présente cette séparation et résume les données prises en compte pour les calculs.</p>
Données Eau	Quantités calculées d'après les données du tableau 2.2.5.
Données Electricité	Quantités calculées à partir des données des tableaux 2.2.2. à 2.2.4. qui ont été additionnées.
Données Energies fossiles	Quantités calculées d'après les données du tableau 2.2.4. L'énergie dépensée pour le chauffage a été comptabilisée ici.
Données GES	Quantités calculées à partir des données de Global Warming Potential (GWP) sur 20 ans selon la méthode de calcul de l'IPCC 2013. Cette méthode a été développée par l'organisme <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (IPCC). Le GWP ICPP 2013 sur 20 ans prend en compte des facteurs de changements climatiques sur une période de 20 ans. Le tableau 2.2.6. présente les facteurs multiplicatifs pour chaque type d'intrants et d'extrants afin de calculer les GES émis.
Données Déchets	Quantités calculées d'après les données du tableau 2.2.5.
Conclusions	Les plus importants impacts environnementaux de l'exploitation et du traitement de minerais de charbon sont associés à l'utilisation des énergies fossiles, aux émissions de méthane et à l'utilisation d'électricité. L'étape d'« Exploitation » a un plus grand impact que l'étape de « Traitement ».
Informations complémentaires	Plus de détails sur l'exploitation du charbon au lien suivant : https://www.worldcoal.org/file_validate.php?file=the_coal_resource_french.pdf

Tableau 2.2.2. Inventaire des activités liées aux **procédés préparatoires** pour l'obtention d'une tonne de charbon traité et quantités associées par type d'intrants et d'extrants, traduit de Buchart-Korol, et al. (2016)

Procédés partiels	Activités	Intrants/Extrants	Unité	Quantité
Accès au dépôt	Travaux avec explosifs	Électricité	kWh	0,04
		Explosifs	kg	0,0088
		Soutènements en acier	kg	0,637
Préparation d'une veine (couche minéralisée)		Roches encaissantes	Mg	0,0087
	Machines de creusement de galerie	Électricité	kWh	0,866
		Explosifs	kg	0,0013
		Soutènements en acier	kg	1,7537
		Roches encaissantes	Mg	0,0941
	Travaux avec explosifs	Électricité	kWh	0,0621
		Explosifs	kg	0,0072
		Soutènements en acier	kg	0,0988
		Roches encaissantes	Mg	0,0112
	Maintenance et reconstruction	Électricité	kWh	0,0105
		Explosifs	kg	0,001
		Soutènements en acier	kg	0,1318
		Roches encaissantes	Mg	0,035

Tableau 2.2.3. Inventaire des activités liées aux **procédés fondamentaux** pour l'obtention d'une tonne de charbon traité et quantités associées par type d'intrants et d'extrants, traduit de Buchart-Korol, et al. (2016)

Procédés partiels	Activités	Intrants/Extrants	Unité	Quantité
Exploitation de la veine (couche minéralisée)	Renforcement des longues tailles	Électricité	kWh	0,1519
		Explosifs	kg	0,0001
		Autres soutènements	kg	5,6403
	Exploitation	Convoyeurs	kg	0,8208
		Électricité	kWh	4,7619
		Explosifs	kg	0,0036
		Bois	m ³	0,001
	Mise hors service des longues tailles	Roches encaissantes	Mg	0,2487
		Électricité	kWh	0,1328
		Explosifs	kg	0,0000498
Traitement mécanique	Traitement du charbon	Roches encaissantes	Mg	0,0007
		Électricité	kWh	9,2348
		Charbon traité	Mg	1
	Mise en tas du charbon et des résidus	Résidus de traitement	Mg	0,5256
	Électricité	kWh	0,5317	

Tableau 2.2.4. Inventaire des activités liées aux **procédés auxiliaires** pour l'obtention d'une tonne de charbon traité et quantités associées par type d'intrants et d'extrants, traduit de Buchart-Korol, et al. (2016)

Procédés partiels	Activités	Intrants/Extrants	Unité	Quantité
Ventilation	Ventilation des travaux miniers souterrains	Électricité	kWh	6,1913
		Émissions de méthane	kg	4,299
Prévention des risques	Risque lié au méthane	Émissions de méthane	kg	0,0235
Transport	Transport et extraction du minerai brut	Électricité	kWh	8,1869
	Transport du personnel, des machines, des équipements et du matériel	Électricité	kWh	0,1789
Gestion de l'énergie et du chauffage	Génération d'électricité et chauffage	Diesel	m ³	0,000164
		Chauffage	GJ	0,0698
		Électricité	kWh	11,9867
Gestion de l'air comprimé pour fonctionnement des équipements	Production et acheminement de l'air comprimé	Électricité	kWh	1,0101
Drainage du méthane	Drainage du méthane dans le dépôt	Électricité	kWh	0,1626
		Émissions de méthane	kg	0,495
Gestion du remblai	Remblai hydraulique	Électricité	kWh	0,018
Gestion de l'atelier et du stockage	Réparation, machines utilisées pour le stockage, équipement et matériel	Électricité	kWh	0,4104

Tableau 2.2.5. Quantité en type d'intrants/extrants liées aux **procédés inhérents à l'activité minière** pour l'obtention d'une tonne de charbon traité, traduit de Buchart-Korol, et al. (2016)

Procédés inhérents à l'activité minière	Unité	Quantité
Eau	m ³	0,1961
Eaux chargées en chlore et en sulfate	kg	0,6425
Charbon dans le gisement	Mg	1
Roches encaissantes	Mg	0,3984
Émissions de poussières	kg	0,0061
Occupation des sols	ha	0,000011

Tableau 2.2.6. Facteurs multiplicatifs pour chaque type d'intrants et d'extrants selon la méthode de l'IPCC 2013 pour le calcul des émissions de GES, traduit et modifié de Buchart-Korol, et al. (2016)

Type d'intrants/extrants	Unité	IPCC 2013 GWP 20a (kg éq, CO2)
Électricité	1 kWh	1,3
Explosifs	1 kg	5,6
Soutènements en acier	1 kg	2,01
Autres soutènements	1 kg	0,2
Convoyeurs	1 kg	0,5
Bois	1 m ³	52,58
Diesel	1 m ³	522,19
Chauffage	1 GJ	121,54
Eau	1 m ³	0,0225
Charbon dans le gisement	1 Mg	0
Occupation des sols	1 ha	0
Roches encaissantes	1 Mg	0
Résidus de traitement	1 Mg	0
Émissions de méthane	1 kg	87,75
Eaux chargées en chlore et en sulfate	1 kg	0
Émissions de poussières	1 kg	0

Tableau 2.2.7. FILIERE CHARBON | Synthèse des calculs pour les intrants et extrants retenus par SystExt pour une tonne de produit fini (charbon lavé), et pour les étapes d'exploitation (Exp.) et de traitement (Trait.)

Intrant/Extrant	Unité	Procédés préparatoires		Procédés fondamentaux		Procédés auxiliaires		Procédés inhérents à l'activité minière	
		Expl.		Expl.	Trait.	Expl.	Trait.	Expl.	Conc.
Eau									
	m ³								0,1961
Remarque	L'eau a été comptabilisé entièrement à l'étape de « Traitement » et pour des procédés inhérents à l'activité minière, puisque celle-ci est principalement utilisée pour laver le charbon extrait. Ainsi, la part de l'eau utilisée pour l'exploitation des longues tailles a été négligée.								
TOTAL	m ³	0,1961							
Électricité									
	kWh	0,9786	5,0466	9,7665	22,1516	5,9934			
Remarque	L'étape de traitement dans les procédés fondamentaux contient la partie « Traitement mécanique » du tableau 2.2.3. La part de l'électricité attribuable à la gestion de l'énergie et du chauffage du tableau 2.2.4. a été réparti entre les étapes d'exploitation et de traitement (division par 2).								
TOTAL	kWh	43,94							
Énergies fossiles									
Diesel	m ³				0,000164				
Chauffage	GJ				0,0349	0,0349			
TOTAL	kWh	21,0345							
Gaz à effet de serre									
Remarque	La génération de GES a été calculée grâce aux facteurs multiplicatifs présentés au tableau 2.2.6 appliqués sur l'ensemble des intrants et extrants, par multiplication.								
Intrants									
Électricité	kWh	0,9786	5,0466	9,7665	22,1516	5,9934			
Explosifs	kg	0,0183	0,00375						
Soutènements en acier	kg	2,048							
Autres soutènements	kg		5,6403						
Convoyeurs	kg		0,8208						
Bois	m ³		0,001						
Diesel	m ³				0,000164				
Chauffage	GJ				0,0349	0,0349			
Eau	m ³								0,1961
Charbon (gisement)	Mg							1	
Extrants									
Roches encaissante	Mg	0,149	0,2494						
Charbon traité	Mg			1					
Résidus de traitement	Mg			0,5256					
Émissions de méthane	kg				4,8175				
TOTAL	t CO2eq	0,4403	GWP (Global Warming Potential) (prévision 20 ans) : Exploitation = 415,56 kg CO2eq, Traitement = 24,73 kg CO2eq ; soit total = 440,30 kg CO2eq						
Déchets miniers									
Roches encaissantes	Mg	0,149	0,2494						
Résidus de traitement	Mg			0,5256					
Remarque	La quantité de roches encaissantes énoncée au tableau 2.2.5. correspond à la somme des quantités de roches encaissantes générées à toutes les étapes du procédé (présentées dans les tableaux 2.2.2. à 2.2.4.).								
TOTAL	tonnes	0,924							

2.3. Calculs détaillés : Filière Phosphate

Tableau 2.3.1. Synthèse méthodologique

Filière	Phosphate
Publication	Silva and Kulay (2003). Application of life cycle assessment to the LCA case studies single superphosphate production, The International Journal of Life Cycle Assessment
Données de base	<p>Les données brutes sont classées en 5 étapes nécessaires pour la fabrication et le transport d'une tonne de superphosphate (SPP) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Exploitation (mine) = prise en compte - Concentration du phosphate = prise en compte - Production d'H₂SO₄ = non prise en compte - Production du SPP = non prise en compte - Transport = pris en compte <p>Les intrants et extrants nécessaires à chaque procédé sont listés et présentés au tableau 2.3.2.</p>
Données Eau	Tirées directement du tableau 2.3.2.
Données Electricité	Tirées directement du tableau 2.3.2.
Données Energies fossiles	Pour les énergies fossiles, les données relatives au transport ont été utilisées, et comprennent le transport du minerai exploité vers l'usine de concentration, située à 5 km, ainsi que le transport du concentré de phosphates vers l'usine de fabrication de superphosphates (SPP), située à 1 100 km. Les camions considérés ont une capacité de 27,2 tonnes de chargement et une consommation en diesel de 2,2 km/L.
Données GES	Tirées directement du tableau 2.3.2.
Données Déchets	Tirées directement du tableau 2.3.2. Dans le cas présent, la quantité totale de déchets intègre également les effluents liquides (c'est-à-dire les liquides provenant du traitement du minerai et qui sont « souillés » par des solides en solution). Ces derniers représentent les deux tiers de la quantité totale de déchets et sont regroupés avec les déchets solides pour des raisons de simplification.
Conclusions	La consommation d'eau la plus importante se fait à l'étape de « Traitement ».
Informations complémentaires	+ Silva and Kulay (2005). Environmental performance comparison of wet and thermal routes for phosphate fertilizer production using LCA. + Données de Nutrien (anciennement PotashCorp).

Tableau 2.3.2. Valeurs calculées des différents intrants et extrants nécessaires à la production d'une tonne de SPP (en gris : non pris en compte dans les calculs réalisés par SystExt)

Aspects environnementaux	Exploitation	Traitement	Production d'H ₂ SO ₄	Production de SPP	Transport
Intrants énergétiques (MJ)					
Énergie électrique	33	307		410	
Énergies fossiles					298
Intrants matériels (kg)					
Eau	537	7 477	204	1 425	
Émissions atmosphériques (kg)					
CO					0,02
CxHy					0,061
NOx					0,567
SO ₂			0,484		0,042
Particules fines					0,037
CO ₂					38,3
Vapeurs de SO ₃			0,009		
HF				0,011	
Déchets solides (kg)					
Magnétite		760			
Boues		672			
Résidus		2 301			
Catalyseurs usés			9,09		
Effluents liquides (kg)					
Solides dissous		7 705			
Phosphates				1,99	

Tableau 2.3.3. FILIERE PHOSPHATE | Synthèse des calculs pour les intrants et extrants retenus par SystExt pour une tonne de produit fini (concentré de phosphate), et pour les étapes d'exploitation et de traitement

Intrant/Extrant	Unité	Exploitation	Traitement	TOTAL
Eau				
	kg	537	7477	8014
TOTAL	m ³	8,014		
Électricité				
	MJ	33	307	340
TOTAL	kWh	94,4		
Énergies fossiles				
	MJ	1,3	296,7	298
Remarque	Le transport entraîne un apport de 298 MJ d'énergies fossiles, converties en kWh. Afin de séparer les coûts de transport entre l'étape de « Exploitation » et ceux de l'étape de « Traitement », les pourcentages d'attribution ont été calculés selon le kilométrage parcouru, comme suit : <ul style="list-style-type: none"> - Associé au transport du minerai au concentrateur = 5 km = 0,45 % - Associé au transport vers les usines de fabrication = 1 100 km = 99,55 % 			
TOTAL	kWh	82,8		
Gaz à effet de serre				
GWP (Global Warming Potential)	kg CO2eq	0,2	38,1	38,3
Remarque	Le calcul des GES a été réalisé selon les mêmes hypothèses que les énergies fossiles, c'est-à-dire selon le kilométrage parcouru. Seule la contribution induite par le CO ₂ a été comptabilisé dans les GES. La part des autres GES émis lors du transport a été considérée comme négligeable par rapport à la quantité de CO ₂ .			
TOTAL	t CO2eq	0,0383		
Déchets miniers				
Déchets solides				3 733
Magnétite	kg		760	
Boue	kg		672	
Autres déchets	kg		2 301	
Déchets liquides = Solides dissous				7 705
	kg		7 705	
TOTAL	tonnes	11,44		

2.4. Calculs détaillés : Filière Or

Tableau 2.4.1. Synthèse méthodologique

Filière	Or
Publication	Norgate and Haque (2012). Using life cycle assessment to evaluate some environmental impacts of gold production, The Journal of Cleaner Production
Données de base	<p>Les données brutes sont classées en 4 étapes nécessaires pour l'exploitation et le traitement d'un minerai aurifère non réfractaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Exploitation (mine) - Comminution (concassage/broyage et usine) - Extraction et récupération (usine) - Raffinages de l'or et de l'argent (usine) <p>Chaque étape est ensuite divisée en sous-unités, avec des intrants et extrants nécessaires à chaque sous-unité. Ces données sont présentées dans le tableau 2.4.2. La séparation entre les procédés relatifs à l'exploitation (mine) et au traitement du minerai (usine) s'est faite selon la description ci-dessus.</p>
Données Eau	Quantités calculées d'après les données du tableau 2.4.3. Elles ne pouvaient pas être séparées entre les étapes d'« Exploitation » et de « Traitement » car les données ne sont pas détaillées dans la publication.
Données Electricité	Quantités calculées d'après les données du tableau 2.4.2.
Données Energies fossiles	Quantités calculées d'après les données du tableau 2.4.2. en additionnant les éléments relatifs au diesel, au mazout et au gaz naturel.
Données GES	Quantités calculées d'après les données du tableau 2.4.3 et de la figure 2.4.3. associée. Les GES émis pour fabriquer l'électricité ont été pris en compte.
Données Déchets	Quantités calculées d'après les données du tableau 2.4.3. Elles ne pouvaient pas être séparées entre les étapes d'« Exploitation » et de « Traitement » car les données ne sont pas détaillées dans la publication.
Conclusions	Les étapes d'exploitation à ciel ouvert et de concassage/broyage contribuent le plus largement aux émissions de GES. L'électricité en est le principal contributeur, et représente la moitié des émissions de GES.
Informations complémentaires	Mudd (2007). Global trends in gold mining: Towards quantifying environmental and resources sustainability?, Resources Policy

Tableau 2.4.2. Inventaire des données utilisées pour les calculs, traduit et modifié de Norgate and Haque (2012)

Procédés	Sous-unités	Type d'intrants/extrants	Quantité	Unité
Exploitation		Diesel	5,3	kg/ t ore
		Explosifs	1,7	kg/ t ore
		Stériles	3	t/ t ore
Comminution		Électricité	17,7	kWh/ t ore
		Boulets en acier	0,71	kg/ t ore
Extraction et récupération	Cyanuration	Électricité	1,4	kWh/ t ore
		Chaux	2,2	kg/ t ore
		Cyanure de sodium	0,64	kg/ t ore
		Résidus de traitement	1	t/ t ore
	CIP	Électricité	5,8	kWh/ t ore
		Charbon	24	g/ t ore
		Hydroxyde de sodium	0,12	kg/ t ore
	Électroplaquage	Acide chlorhydrique	83	g/ t ore
		Électricité	3100	kWh/ t Au
		Cathodes en laine d'acide	0,25	t/ t Au
	Fonte	Acide chlorhydrique	0,49	t/ t Au
		Gaz naturel	0,35	GJ/ t Au
		Mazout	0,3	kg/ t ore
	Divers	Électricité	8,6	kWh/ t ore
		Chlorination	Électricité	480
Chlore		0,07	t/ t dore	
Raffinage de l'or	Electrolyse	Électricité	325	kWh/ t gold
	Electrolyse	Électricité	630	kWh/ t silver
Raffinage de l'argent	Electrolyse	Électricité	630	kWh/ t silver

Remarque :

- Lorsque les données sont en tonne de minerai, la conversion utilisée pour obtenir la donnée en tonne d'or est de 285 714,3 tonnes de minerai pour une tonne d'or (équivalent à une teneur de 3,5 g/t), donc les chiffres ont été multipliés par 285 714,3.
- Dans cette étude, on considère une équivalence de 41 MJ/kg pour le mazout.

Tableau 2.4.3. Quantité d'intrants et d'extrants nécessaires à la production aurifère, traduit et modifié de Norgate and Haque (2012)

Impact	Quantité	Unité
GES	17 560	t CO ₂ eq/t Au
Eau	259 290	t/t Au
Résidus solides	1 264 780	t/t Au

Figure 2.4.3. Contribution de chaque étape pris en compte dans notre étude à l’empreinte environnemental en termes de GES, traduit et modifié de Norgate and Haque (2012)

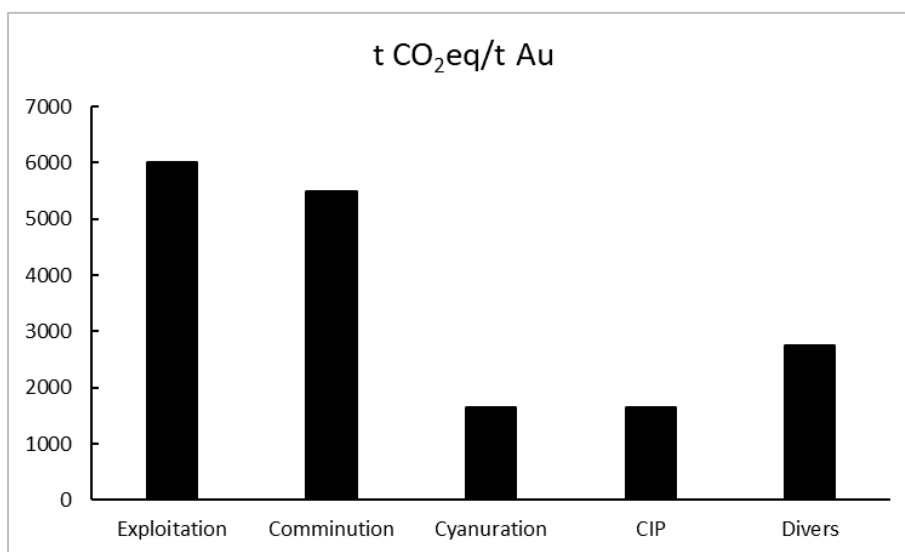
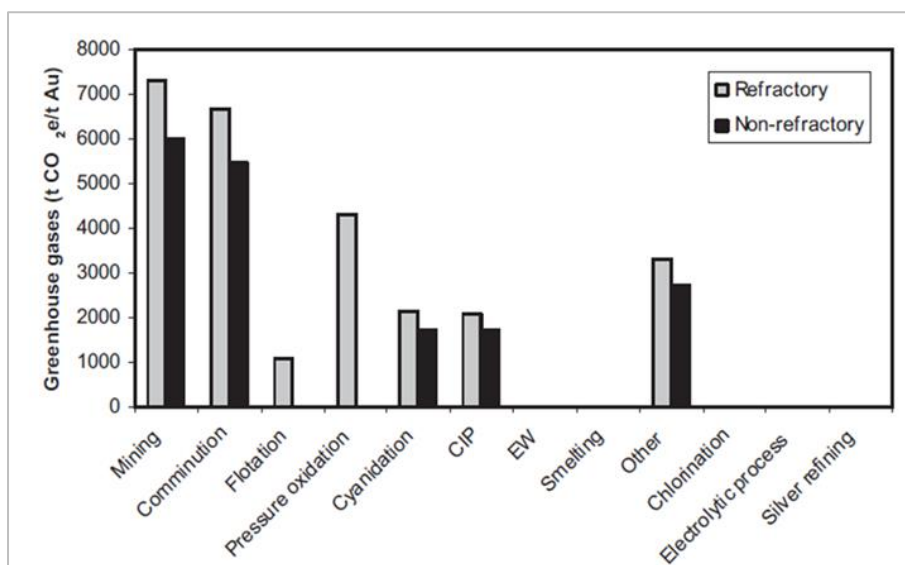


Tableau 2.4.4. FILIERE OR | Synthèse des calculs pour les intrants et extrants retenus par SystExt pour une tonne de produit fini (lingots à 90 % or et 10% argent), pour les étapes d'exploitation et de traitement)

On note que les quantités calculées sont élevées car prises en compte pour 1 tonne de produit fini, à comparer aux 15,9 tonnes produites annuellement par le site minier. Dans le cas du charbon par exemple, les quantités sont également calculées pour 1 tonne de produit fini mais qui doivent être comparées aux 2,26 millions de tonnes produites annuellement.

Intrant/Extrant	Unité	Exploitation	Traitement	TOTAL
Eau				
Remarque	Aucun calcul n'a été réalisé pour l'eau. La valeur est tirée directement du tableau 2.4.3. et n'a pas pu être séparée entre les étapes d'« Exploitation » et de « Traitement »			
TOTAL	m ³	259 290		
Électricité				
	kWh	2 457 143	7 118 226	9 575 368
Remarque	Après multiplication des données d'électricité présentées dans le tableau 2.4.2. par le facteur de conversion de 285 714,3 (pour obtenir la quantité par tonne d'or). L'étape d'« Exploitation » comprend seulement la partie « Divers » du tableau 2.4.2.			
Énergies fossiles				
	kWh	1 724 603	97 629	1 822 232
Remarque	Les énergies fossiles comprennent ici le diesel, le mazout et le gaz naturel, présentés dans le tableau 2.4.2. L'étape d'« Exploitation » n'est concernée que par le diesel.			
Gaz à effet de serre				
	t CO2eq	6 000	11 560	17 560
Remarque	Aucun calcul n'a été réalisé pour les émissions de GES. La valeur est tirée directement du tableau 2.4.3. La séparation entre les étapes d'« Exploitation » et de « Traitement » s'est faite grâce à la figure 2.4.3., approximativement comptabilisé à 6 000 tonnes équivalent CO ₂ pour l'étape d'« Exploitation ». Pour l'étape de « Traitement », le calcul est basé sur la différence entre la valeur totale fournie dans le tableau 2.4.3. et cette valeur de 6 000 tonnes.			
Déchets miniers				
Remarque	Aucun calcul n'a été réalisé pour les déchets miniers. La valeur est tirée directement du tableau 2.4.3. et n'a pas pu être séparée entre les étapes d'« Exploitation » et de « Traitement »			
TOTAL	tonnes	1 264 780		

3. Statistiques France pour le calcul des équivalences

Paramètre	Eau
Type	Intrant
Critère retenu	Quantité d'eau (en m ³) consommée par 10 000 habitants en France par an
Valeur retenue	521 950 m ³
Date des données	2013
Donnée de base	143 litres d'eau potable utilisés par habitant et par jour en 2013 [1]
Calcul	Soit 143 (litres) x 365 (jours) / 1 000 (conversion en m3) x 10 000 (nombre d'habitants pris en compte ici) = 521 950 m ³
Remarque	On considère effectivement l'eau potable puisque tous les usages domestiques sont branchés sur la même arrivée d'eau, mais pas l'empreinte « eau » de la consommation française, c'est-à-dire l'eau que l'on consomme indirectement.
Sources	[1] https://fr.statista.com/statistiques/555086/eau-potable-consommation-par-jour-par-habitant-litres-france/
Informations complémentaires	Donnée 2008, selon Observatoire SISPEA : 148 litres par habitant et par jour. Chiffre repris par de nombreuses publications dont le Centre d'Information sur l'Eau : https://www.cieau.com/le-metier-de-leau/ressource-en-eau-eau-potable-eaux-usees/quels-sont-les-usages-domestiques-de-leau/

Paramètre	Électricité
Type	Intrant
Critère retenu	Quantité d'électricité (en kWh) consommée par 1 000 foyers en France par an
Valeur retenue	4 944 000 kWh
Date	2017
Donnée de base	(a) 158,6 TWh d'électricité consommés par les clients résidentiels en 2017 [2] (b) 32 078 000 sites résidentiels en 2017 [2]
Calcul	Soit 158,6 x 10 ⁹ (kWh) / 32 078 000 (sites) x 1000 (nombre de foyers pris en compte ici) ≈ 4 944 000 kWh
Remarque	Il est plus facile de visualiser ce que consomme un foyer qu'un habitant car la consommation d'électricité n'est pas proportionnelle au nombre de personnes.
Sources	[2] https://www.fournisseurs-electricite.com/guides/consommation/consommation-electrique-moyenne
Informations complémentaires	Les données de la référence [2] s'appuient principalement sur celles du RTE (Réseau de transport d'électricité), utilisée comme référence par tous les acteurs. Voir notamment leur Bilan Électrique 2018 : https://www.rte-france.com/sites/default/files/be_pdf_2018v3.pdf (ici uniquement données sectorielles). Pas de donnée trouvée sur le nombre de foyers (ou résidences) pourvus d'électricité en France en 2018 ; d'où le choix de conserver les données de 2017.

Paramètre	Énergies fossiles
Type	Intrant
Critère retenu	Quantité d'hydrocarbures (essence ou diesel) (en kWh) consommée par 1 000 voitures en France par an
Valeur retenue	8 774 965 kWh
Date	2018

Données de base et calculs

- a) Conversion énergétique :
 1 litre d'essence = 34,66 MJ = 9,63 kWh d'où 1 m³ d'essence = 9 630 kWh
 1 litre de diesel = 38,68 MJ = 10,74 kWh d'où 1 m³ de diesel = 10 740 kWh [3]
- b) Consommation totale d'essence des voitures particulières en France en 2018 = 8 988 000 m³ [4]
 D'où consommation totale d'essence des voitures particulières en kWh = 8 988 000 x 9 630 = 8,6 x 10¹⁰ kWh (Résultat A)
- c) Consommation totale de gazole des voitures particulières en France en 2018 = 18 658 000 m³ [5]
 D'où consommation totale de gazole des voitures particulières en kWh = 18 658 000 x 10 740 = 2,0 x 10¹¹ kWh (Résultat B)
- d) Au 1er janvier 2018, 32,70 millions de véhicules particuliers en circulation [6]
 D'où consommation "moyenne" en kWh pour 1 000 voitures en circulation en 2018 = (Résultats A + B) / 32,7 x 10⁶ x 1000 (nombre de voitures pris en compte ici) = 2,86941E+11 / 32,7E+6 x 1000 = 8 774 965 kWh.

Remarque

L'hypothèse est faite ici que tout le parc automobile français (en termes de voitures particulières) est constitué soit de voitures à essence, soit de voitures à diesel. D'après les sources consultées (comme [7]), les autres types de moteurs et d'alimentation (GPL, voitures hybrides, voitures électriques, bio-éthanol, etc.) représenteraient environ 1% du parc.

Sources

- [3] <https://apps.cer-rec.gc.ca/Conversion/conversion-tables.aspx?GoCTemplateCulture=fr-CA>
- [4] <https://fr.statista.com/statistiques/486845/consommation-essence-voitures-particulieres-france/>
- [5] <https://fr.statista.com/statistiques/486956/gazole-essence-voitures-particulieres-france/>
- [6] valeur d'après cette source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Parc_automobile_fran%C3%A7ais ; confirmée par l'INSEE : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2045167>
- [7] <https://www.assurland.com/presse/communiqués-de-presse-assurance/a-quel-carburant-roulent-les-voitures-des-français.html>

Paramètre	Gaz à effet de serre (GES)
Type	Extrant
Critère retenu	Quantité en tonnes équivalent CO ₂ (t eq CO ₂) émise par 1 000 voitures en France par an
Valeur retenue	1 469 tonnes
Date	2018
Données de base	(a) Taux moyen d'émission de CO ₂ par kilomètre parcouru pour les véhicules particuliers neufs vendus en France en 2018 = 112 g CO ₂ / km [8] (b) Parcours moyen annuel des voitures particulières en France en 2018, pour l'ensemble des voitures particulières = 13 117 km [9]
Calcul	Soit 112 (g CO ₂ / km) x 13 117 (km) / 1 000 000 (conversion en tonnes) x 1 000 (nombre de voitures pris en compte ici) = 1 469 tonnes
Remarque	Difficile de trouver des données sur les GES en général, les publications consultées traitent du CO ₂ uniquement. Il s'agit du gaz majoritairement émis par le secteur du transport.
Sources	[8] Donnée de référence, régulièrement citée : Car Labelling, ADEME : http://carlabelling.ademe.fr/chiffrescles/r/evolutionTauxCo2 [9] https://fr.statista.com/statistiques/484345/distance-parcourue-en-moyenne-par-voiture-france/

Paramètre	Déchets miniers
Type	Extrant
Critère retenu	Quantité de déchets en tonnes produit par 100 000 habitants en France
Valeur retenue	56 800 tonnes
Date	2016
Donnée de base	568 kg de déchets ménagers et assimilés par habitant en 2016 [10]
Calcul	Soit 568 (kg par an) / 1 000 (conversion en tonnes) x 100 000 (nombre d'habitants pris en compte ici) = 56 800 tonnes
Remarque	<p>On prend en compte ici les déchets ménagers <u>et les déchets assimilés</u>. Selon l'ADEME : "Les déchets dits assimilés regroupent les déchets des activités économiques pouvant être collectés avec ceux des ménages, eu égard à leurs caractéristiques et aux quantités produites. Il s'agit des déchets des entreprises (artisans, commerçants, bureaux, etc.) et des déchets du secteur public (administrations, hôpitaux, etc.) collectés dans les mêmes conditions que les ordures ménagères. L'étude de caractérisation des déchets ménagers et assimilés menée par l'ADEME en 2017 (MODECOM) a montré que les ordures ménagères résiduelles (OMR) étaient, en France, constituées à 20 % de ces déchets assimilés." [11]</p>
Sources	<p>[10] https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/dechets_chiffres_cles_essentiel2018_infographie_010691.pdf [11] https://www.ademe.fr/collectivites-secteur-public/integrer-lenvironnement-domaines-dintervention/dechets/dossier/dechets-entreprises-choix-role-collectivite/savoir-plus-dechets-activites-economiques-dits-assimiles</p>
Informations complémentaires	<p>A noter que Planetoscope propose un chiffre d'Eurostat de 2017 : Les déchets ménagers par habitant représenteraient 513 kg en France en 2017 (https://www.planetoscope.com/dechets/148-production-de-dechets-menagers-en-france.html) mais comme le mentionne le site du CNIID, Eurostat évalue la quantité de déchets municipaux par habitant (http://www.cniid.org/Les-dechets-en-France-quelques-chiffres,151) ; les chiffres sont un peu différents et n'incluent que les déchets ménagers et pas les déchets "assimilés".</p>