

L'EUROPE FACE AU PIC PÉTROLIER : RAPPORT ANNEXE 3

Classification des hydrocarbures

Benoît Thévard – novembre 2012



SOMMAIRE

SOMMAIRE.....	1
LEXIQUE	2
I. HYDROCARBURES CONVENTIONNELS.....	3
II. HYDROCARBURES NON CONVENTIONNELS	3
A. PÉTROLES NON CONVENTIONNELS	3
1. Difficultés d'accès et de récupération	3
2. Difficultés liées aux caractéristiques du pétrole... ..	4
B. LES CARBURANTS SYNTHÉTIQUES.....	5
C. GAZ NON-CONVENTIONNELS	5

LEXIQUE

VOCABULAIRE TECHNIQUE

Français	English	Définition
Bio/agro carburant	Biofuel	Carburant liquide issu d'une transformation de la biomasse.
	Coal, Gas & Biomass To Liquid	Carburant liquide issu d'une transformation thermo-chimique du charbon, du gaz naturel ou de la biomasse.
Condensat	Condensate	Hydrocarbure très léger, à l'état gazeux dans le sous-sol mais qui se condense en tête de puits.
Déplétion	Depletion	Part des réserves ultimes récupérables ayant déjà été produite
Pétrole & Gaz de schiste	Shale oil & gas	Gaz piégé dans la roche mère, un milieu non poreux et imperméable
Pétrole & gaz en roche compacte	Tight oil & gas	Gaz contenus dans de très mauvais réservoirs compacts
Gaz de charbon, gaz de houille	Coal Bed Methane, CBM	Gaz produit à partir de couches de charbon qui sont trop profondes, ou de mauvaise qualité pour être exploitées avec des techniques minières
Gaz naturel	Natural gas	Méthane trouvé naturellement dans des roches réservoirs.
Gisement, champ	Field	Zone formant un réservoir de pétrole simple ou multiple faisant partie d'une même structure géologique
Hydrocarbure	Hydrocarbon	Molécule organique constituée d'atomes de carbone et d'hydrogène
Pétrole brut	Crude oil	Hydrocarbure naturellement liquide et stocké dans des réservoirs naturels souterrains
Pétrole conventionnel	Conventional oil	Dans cette étude, le pétrole conventionnel exclu les pétroles extra-lourds, le pétrole offshore profond et ultra profond, le pétrole en roche compacte et pétrole de schiste
Pétrole lourd	Heavy oil	Pétrole dense dont l'indice de gravité est compris entre 10°API et 20°API
Pétrole extra-lourd	Extra-heavy oil	Pétrole très dense dont l'indice de gravité est inférieur à 10°API
Hydrate de méthane	Gas hydrate	Mélange d'eau et de méthane piégé au fond des océans ou dans le pergélisol qui, sous certaines conditions de pression et de température, cristallise pour former un solide.
Kérogène	Kerogen	Matière organique insuffisamment chauffée pour être transformée en pétrole
Schiste	Oil shale	Roche sédimentaire contenant

bitumineux		de la matière organique immature (kérogène)
Sables bitumineux	Oil sands, tar sands	Sable contenant du pétrole extra lourd ou du bitume
Taux de déclin	Decline rate	Taux annuel auquel la production d'un puits pétrolier, d'un champ ou d'une région décline après le passage du pic de production
Tous liquides	All-liquids	Terme générique incluant tous les hydrocarbures et carburants liquides (pétrole brut conventionnel et non conventionnel, condensats, liquides de gaz naturel, CTL, GTL, BTL et biocarburants)

ABREVIATIONS

AIE	IEA	Agence Internationale de l'Energie (International Energy Agency)
BP		British Petroleum (compagnie pétrolière)
	BTL, GTL, CTL	Biomass to Liquid, Gas to Liquid, Coal to Liquid
	EIA	Energy Information Administration
	EOR	Enhanced Oil Recovery
	EROEI	Energy Return on Energy Invested (Energie récupérée sur énergie investie)
	ERR	Economically Recoverable Resources (Ressources économiquement récupérables)
	OGJ	Oil & Gas Journal
OPEP	OPEC	Organisation des Pays Exportateurs de Pétrole (Organisation of the Petroleum Exporting Countries)
PIB	GDP	Produit Intérieur Brut (Gross domestic product)
R/P		Réserves sur Production
	TRR	Technically Recoverable Resources (Ressources techniquement récupérables)
	URR	Ultimate Recoverable Resources (Ressources ultimes récupérables)

UNITES

\$, M\$, Md\$	dollar, million de dollars, milliard de dollars
€, M€, Md€	euro, million d'euros, milliards d'euros
b, kb, Mb, Gb	baril, millier de barils, million de barils, milliard de barils
b/j, kb/j, Mb/j	baril par jour, millier de barils par jour, million de barils par jour
Wh, kWh	Watt.heure, kiloWatt.heure
Bcf, Tcf	billion cubic feets, trillion cubic feets
Bcm, Tcm	billion cubic meters, trillion cubic meters
t, Mt	tonne, million de tonnes
°API	degré API, unité de mesure de la densité du pétrole
tep, ktep, Mtep	tonne, millier de tonnes et million de tonnes équivalent pétrole

I. HYDROCARBURES CONVENTIONNELS

Lorsque l'on parle des hydrocarbures, il existe une distinction entre les conventionnels et les non conventionnels, sans pour autant que la frontière entre les deux soit parfaitement définie. Cette absence de définition claire nous impose de bien définir les choix que nous avons faits dans le cadre de cette étude.

Les hydrocarbures conventionnels regroupent des huiles minérales liquides ou quasiment liquides, ou du gaz également appelé méthane (CH₄), qui peuvent être extraits de réservoirs souterrains contenant les hydrocarbures ainsi que les impuretés associées telles que du soufre et des particules métalliques, par des méthodes de forage dites « classiques ». Ils sont généralement situés dans des roches poreuses et perméables, formant des gisements à forte concentration en hydrocarbures, permettant un développement relativement simple et une bonne productivité. Leur coût de production est très faible et le capital qu'il est nécessaire d'investir pour développer un gisement reste modéré. Les pétroles sont généralement classés en fonction de leur densité (degrés API¹) et de leur teneur en soufre. Un pétrole conventionnel est considéré comme lourd quand sa densité est inférieure à 20° API.

Condensats

Les condensats sont un type de pétrole léger : il s'agit de la partie des hydrocarbures qui, gazeux dans le gisement, se condensent une fois refroidis par la détente en tête de puits. Par extension, les condensats regroupent les hydrocarbures liquides obtenus à partir de gaz naturel, en faisant varier la température et/ou la pression pour les amener sous leur point d'ébullition. Les condensats sont généralement associés au pétrole brut dans les statistiques. Leur qualité et impact environnemental dépendent de leur teneur en soufre d'hydrogène.

II. HYDROCARBURES NON CONVENTIONNELS

Par opposition à la définition citée précédemment, sont généralement appelés « hydrocarbures non conventionnels », les pétroles et les gaz difficiles et coûteux à produire, à cause de contraintes des caractéristiques physiques du pétrole ou du réservoir ou d'éloignement qui

empêchent leur exploitation par des techniques de forage classiques. Ces hydrocarbures sont extraits par des techniques de production intensives en énergie (chauffage, dilution), ou des moyens permettant de les atteindre dans des endroits inaccessibles. Avec les progrès technologiques et la hausse des prix du pétrole, certains hydrocarbures autrefois non-conventionnels sont aujourd'hui considérés par certains comme conventionnels.

Dans le cadre de cette étude, nous considérons un hydrocarbure comme **non-conventionnel** dès lors que :

- ses caractéristiques physiques et de stockage impliquent un coût élevé de production (>40\$/b)
- et/ou les risques ou impacts environnementaux associés sont élevés
- et/ou il est stocké dans une roche compacte qui impose l'utilisation de la fracturation hydraulique

A. PETROLES NON CONVENTIONNELS

1. DIFFICULTES D'ACCES ET DE RECUPERATION

FORAGES EN EAUX PROFONDES (200-1500 METRES) ET ULTRA PROFONDES (PLUS DE 1500 METRES)

Le pétrole issu des forages en eaux profondes Les progrès techniques ont permis de rendre mesurables et accessibles les gisements situés en grande et très grandes profondeurs. Différentes techniques sont utilisées pour leur exploitation : les plateformes flottantes, semi submersibles et les structures sous-marines.

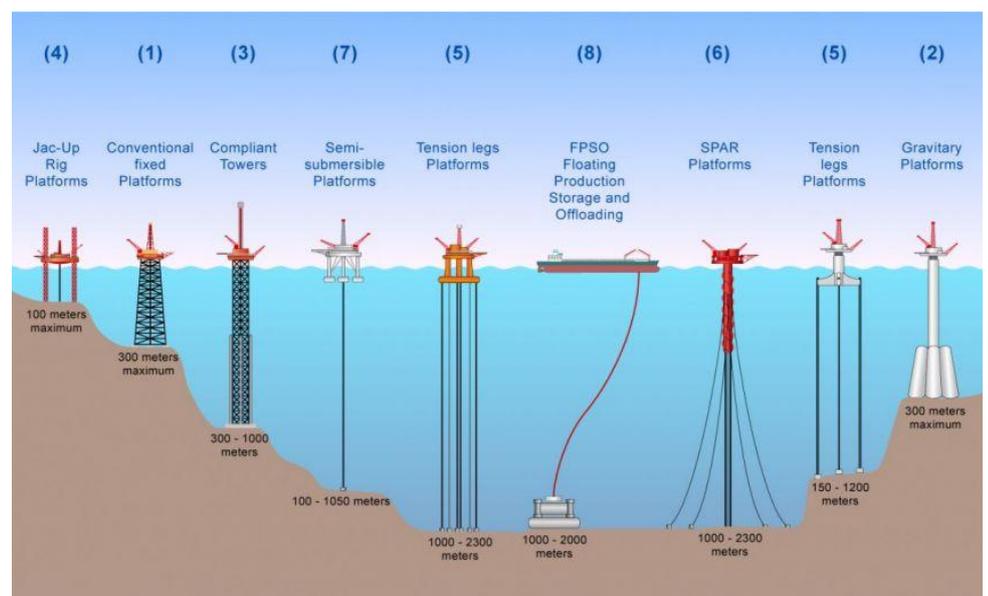


Figure 1: différents types d'exploitation du pétrole en mer (source : www.connaissancesdesenergies.org)

¹ La densité API permet d'exprimer la densité d'un pétrole brut en degrés API. Plus un pétrole est léger, plus sa densité API est élevée. Une densité API de 10° correspond à une densité de 1, c'est-à-dire la même densité que l'eau.

Depuis les années 1990, la profondeur moyenne des champs développés a doublé¹, passant de 300 mètres à 600 mètres, avec un record à 2 930 mètres pour la plateforme Perdido dans le golf du Mexique dont la capacité de production représente 100 000 b/j pour le pétrole et 200 Mcf/j pour le gaz. A la profondeur de l'eau doit s'ajouter la profondeur de forage en sous-sol et plusieurs forages dépassent aujourd'hui les 10 km de profondeur au total². Au niveau mondial, l'offshore représente 1/5ème des réserves de pétrole et plus de 40 % des réserves de gaz³.

TIGHT OIL (PETROLE EN ROCHE COMPACTE)

Ce sont des hydrocarbures liquides contenus dans de très mauvais réservoirs compacts (faible perméabilité) rendant leur mobilité difficile. Après migration hors de la roche-mère, ils ont été piégés dans des roches réservoirs ultracompactes. Le « tight oil » est extrait par des techniques de fracturation hydraulique et de forage horizontal. Les réserves exploitables se situent principalement aux USA, en Syrie, dans le golfe persique, en Russie et au Mexique.

PETROLE DE SCHISTE, HUILE DE SCHISTE OU « SHALE OIL »

Situé entre 2000 et 3000 mètres, le pétrole de schiste proche du pétrole conventionnel est resté piégé dans la roche mère, un milieu non poreux et imperméable. Son extraction nécessite l'utilisation de la fracturation hydraulique pour permettre aux huiles de s'échapper. Ces huiles de schiste sont actuellement surtout exploitées dans le bassin de Williston (USA et Canada).

Le pétrole de schiste peut également provenir de schistes bitumineux ayant été chauffés (voir schiste bitumineux ou oil shale).

2. DIFFICULTES LIEES AUX CARACTERISTIQUES DU PETROLE

PETROLE LOURD (DENSITE API < 20°) ET EXTRA-LOURD (DENSITE API < 10°)

La forte densité et très forte viscosité des pétroles lourds ou extra lourds rendent leur extraction particulièrement difficile par des techniques d'extraction classiques, même dans des réservoirs de bonne qualité. Ils proviennent d'anciens gisements conventionnels dont le pétrole a été altéré par une intense activité bactérienne. Les ressources

sont estimées à 2 484 Milliards de barils. Les principales réserves se situent au Venezuela et au Canada.

SABLES BITUMINEUX OU SABLES ASPHALTIQUES

Les sables bitumineux désignent du sable contenant du pétrole extra lourd ou du bitume. Classés parmi les pétroles extra-lourds, les sables bitumineux du Canada présentent la difficulté supplémentaire d'être soumis à des températures plus basses, ce qui rend le pétrole quasiment solide. Il peut être extrait par des méthodes minières ou par forage après un réchauffement par injection de vapeur. Selon qu'il est transformé en Syncrude (pétrole brut de synthèse) ou en Bitume, l'ERoEI varie de 1,5 à 3.

SCHISTE BITUMINEUX OU « OIL SHALE »

Le schiste bitumineux désigne une roche sédimentaire, ayant une granulométrie très fine, contenant des quantités importantes de matière organique immature (kérogène), car la roche-mère n'a pas été suffisamment enfouie pour être soumise à des températures qui permettent de transformer la matière organique en hydrocarbures. Ces schistes sont extraits de carrières ou de mines, puis chauffés à fortes températures (autour de 450°C) : l'huile formée est collectée. Une autre technique consiste à chauffer en zone souterraine puis d'extraire les hydrocarbures qui se forment. Le rendement énergétique est très faible (ERoEI compris entre 1,3 et 4 selon les sources et les techniques) et l'impact environnemental (paysage, consommation d'eau, émission de GES) est important. Cette ressource est très peu exploitée dans le monde et son extraction se concentre en Estonie, au Brésil et en Chine.

Ressources estimées : 4800 Gb



Figure 2: schiste bitumineux (source: www.oilshale.co.uk)

¹ Energy Founds advisor: http://www.aspo2012.at/wp-content/uploads/2012/06/Rech_aspo2012.pdf

² Thibaut Schepman, *De Marseille à la Guyane, une aventure pétrolière en eaux profondes*, Terraeco, consulté le 11/09/2012, URL: <http://www.terraeco.net/De-Marseille-a-la-Guyane-une,41644.html/>

³ <http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/petrole-et-gaz-offshore>

B. LES CARBURANTS SYNTHÉTIQUES

Les carburants synthétiques englobent les biocarburants et les carburants synthétisés à partir de la biomasse, du charbon et du gaz (BTL, CTL et GTL).

LES BIOCARRBURANTS

Les biocarburants, également appelés agrocarrburants (issus de l'agriculture) sont des carburants issus de la transformation de la biomasse et qui peuvent remplacer l'essence, le diesel ou le kérosène. Il existe deux filières : le bioéthanol et le biodiesel.

Le premier est incorporé à l'essence, il est issu de la fermentation de sucres issus de la canne à sucre, du maïs ou de la betterave. Le rendement du bioéthanol issu du maïs américain est globalement négatif, contrairement à celui fabriqué à partir de la canne à sucre du Brésil. La seconde génération de bioéthanol, dont la production est encore marginale, est obtenue par une décomposition de la cellulose du bois ou des déchets agricoles en sucre élémentaire, qui sont ensuite fermentés comme n'importe quel sucre. Le principal avantage est la non-concurrence avec les productions alimentaires.

Le second est issu d'une transformation chimique d'huiles végétales (principalement palme, colza et tournesol) avant d'être incorporé au diesel. La troisième génération de biocarburant consiste à cultiver des micro-algues gourmandes en CO₂ et dont le rendement de production à l'hectare est bien supérieur à celui des autres cultures. L'huile peut ensuite être extraite de celles-ci pour produire le biodiesel.

La production de biocarburants est actuellement limitée par les surfaces agricoles disponibles, les impacts environnementaux de la culture intensive et le coût important de certaines productions. L'EROEI des biocarburants de première génération se situe entre 0,7 et 10.

PETROLE SYNTHETISE A PARTIR DE BIOMASSE (BTL OU BIOMASS TO LIQUID)

Le BTL est un carburant liquide obtenu par une transformation thermo-chimique de la biomasse, c'est-à-dire une gazéification suivie d'une synthèse Fischer-Tropsch. Les coûts d'investissements sont très importants, c'est pourquoi il faut une taille d'usine minimum pour obtenir une rentabilité commerciale. Or, l'étalement géographique de la ressource en biomasse rendrait trop coûteux et complexe l'approvisionnement d'une telle usine. En 2012, aucune production commerciale de BTL n'existe.

PETROLE SYNTHETISE A PARTIR DU CHARBON (CTL OU COAL TO LIQUID)

Le Coal to Liquid est un carburant liquide obtenu à partir du charbon. Il peut s'agir d'une transformation directe sous haute température et haute pression, à l'aide d'un solvant et suivi d'une opération de raffinage, ou d'une transformation indirecte qui consiste à gazéifier le charbon et le condenser ensuite avec une catalyse (procédé Fischer-Tropsch). Le spécialiste mondial est la compagnie Sasol en Afrique du Sud. Les coûts d'investissements sont beaucoup plus importants que pour le traitement de pétrole conventionnel et le rendement du procédé dépend largement de la qualité du charbon utilisé.

Réserves prouvées de charbon en 2009 : 860 Gt

PETROLE SYNTHETISE A PARTIR DU GAZ (GTL OU GAS TO LIQUID)

Le Gas To Liquid est un carburant liquide obtenu par une transformation chimique du gaz naturel. Comme le Coal To Liquid, il est fabriqué à partir du procédé Fischer-Tropsch. De nombreux projets ont été stoppés à cause d'un problème de rentabilité. La plus grande usine du monde, située au Qatar, représente la moitié de la production mondiale (0,14 Mb/j sur un total de 0,3 Mb/j). Elle dispose d'un contrat de fourniture gratuite du gaz, c'est la raison principale de son existence et de sa rentabilité.

C. GAZ NON-CONVENTIONNELS

TIGHT GAS (GAZ EN ROCHE COMPACTE)

Les hydrocarbures gazeux sont contenus dans de très mauvais réservoirs, peu perméables, qualifiés de réservoirs ultracompacts. L'exploitation du tight gas impose la mise en œuvre de fracturation hydraulique.

Ressources estimées : 200 Tm³

GAZ DE SCHISTE OU « SHALE GAS »

Les gaz de schiste sont contenus dans des roches argileuses ayant une forte teneur en matière organique. Ces argiles (souvent un mélange d'argiles, de silts ou de carbonates) ont été fortement enfouies (entre 3000 et 6000 mètres). Une grande partie de ce gaz est restée piégée dans les argiles (schistes bitumineux). Son exploitation se concentre aux Etats-Unis et impose l'utilisation de la fracturation hydraulique.

Ressources estimées : 450 Tm³.

GAZ DE HOUILLE (COALBED METHANE)

Il s'agit de gaz produit à partir de couches de charbon qui sont trop profondes, ou de mauvaise qualité pour être exploitées sous forme de mine. La particularité du gaz de houille réside dans le fait qu'une partie du gaz peut être contenu dans les fractures du charbon, mais que la majeure

partie du méthane est adsorbé sur le charbon lui-même. Pour faire passer ce méthane adsorbé sous forme gazeuse, il faut diminuer les conditions de pression. Cette dépressurisation s'effectue généralement en pompant l'eau interstitielle contenue dans les charbons.

Ressources estimées : 250 Tm³.

HYDRATES DE METHANE OU « GAS HYDRATE »

L'hydrate de méthane est un mélange d'eau et de méthane qui, sous certaines conditions de pression et de température, cristallise pour former un solide. Les hydrates de méthane sont piégés au fond des océans et dans le pergélisol des régions continentales les plus froides (Sibérie, Nord du Canada). Cette source d'hydrocarbure semble difficilement exploitable avec la technologie actuelle.

Ressources estimées : 1000 à 5000 Tm³

Phase	Classification		coût de production \$2008/bep	densité		ERoEI	Géologie	Infrastructure extraction	Impact environnemental		Risque environnemental		Principales réserves ou productions
				°API	°				eau	autres	eau	autres	
liquide	production classique	NGPL / Condensats on shore	10-40	70-50	14,5	R	FC					Arabie Saoudite, Russie	
			10-40	57-10	20	R	FC					Arabie Saoudite, Russie	
	Léger production spécifique	tight oil	10-40	57-10	10-20	R	FC					USA, Brésil, Angola	
			15-40	57-10	5-10	R	FR					USA	
		shale oil	15-40	57-10	5-10	RM	FR					USA	
			35-80	57-10	5-20	R	FC					Brésil, USA	
		ultra profond	35-80	57-10	5-20	R	FC					Brésil, USA	
			froid extrême	35-100	57-10	5-12	R	FC				USA, Russie	
	Solide	EOR	20-80	57-10	5-15	R	FC+I					/	
			Lourd extra lourd	35-75	15-10	5-15	R	FC					Mexique
synthétique	extra lourd	Sables bitumineux	35-75	<10°	1,5-5	R	FC					Venezuela	
			35-75	<10°	1,5-4	R	M					Canada	
	Schistes bitumineux	50-115	<10°	1,3-2	R	M/S					Estonie		
		Coal to Liquid	60-115	NA	0,5-8,2	NA	NA					Afrique du Sud	
	biocarburants	Gas to Liquid	38-115	NA	5-8,3	NA	NA					Qatar	
			60-100	NA	<1	NA	NA					/	
		Biomass to Liquid	60-145	NA	1,3-2	NA	NA					Europe, USA	
			Biodiesel	40-135	NA	0,7-10	NA	NA					Brésil, USA
	gazeux	production classique	on shore	5-40	NA	10-15	R	FC					Arabie Saoudite, Russie
			off shore	10-40	NA	10-15	R	FC					USA, Brésil, Angola
production spécifique		tight gas	15-40	NA	5-10	R	FR					USA	
		shale gas	20-50	NA	5-10	RM	FR					USA	
Hydrates de méthane	gaz de houille	20-50	NA	5-10	CH	FR+I					USA, Australie, Chine		
		25-50	NA	3	FO	FC+I					Japon, Inde, USA		

	Contraintes raisonnables, exploitation potentiellement durable
	Contraintes trop importantes dans certains cas et acceptables dans d'autres
	Contraintes trop importantes présentant de forts risques, exploitation non durable et non généralisable
NA	Non applicable

Géologie
R Roche réservoir
RM Roche mère
CH Charbon
FO Fonds océaniques

Infrastructure d'extraction
FC Forage classique
FR Fracturation hydraulique
I Injection
M Mine
S Souterrain

A noter: les valeurs reportées dans ce tableau sont issues de sources multiples et non répertoriées dans cette étude. Les couleurs sont parfois affectées sur des critères qualitatifs et sont données ici à titre indicatif. Ce tableau n'a donc pas valeur de référence mais d'indications pour le lecteur.

Tableau 1: Inventaire et classification des hydrocarbures (Source : compilation de l'auteur)