

Bleu = Boucle ELECTRICITE, **Rouge** = Boucle CHALEUR et **Orange** = Boucle Matières & Circularité

<u>Type de procédé / Brique Technologique</u>	<u>Intrants énergétiques</u>	<u>Autres intrants</u> (solide, liquide ou gaz)	<u>Technologies</u>	<u>Description courte des technologies</u>	<u>Puissance visée pour TRL7 P&T</u> [kW électrique]	<u>Puissance visée pour TRL7 P&T</u> [kW thermique]	<u>Flux énergétiques Sortants valorisables</u>	<u>Autres flux sortants potentiellement valorisables</u> (solide, liquide ou gaz)
Conversion	Energie solaire		Photovoltaïque	Production d'électricité par panneaux photovoltaïques y compris auxiliaires (ex. onduleurs) - Technologies matures (et en développement)	100		Electricité	
Conversion	Energie solaire	Eau glycolée	Solaire Thermique (Plans)	Production de Chaleur BT par panneaux de conversion solaire thermique - technologies matures		50	Chaleur	eau glycolée chaude
Conversion	Energie éolienne		Eolien	Production d'électricité par micro-éolienne et auxiliaires	100		Electricité	

Bleu = Boucle ELECTRICITE, **Rouge** = Boucle CHALEUR et **Orange** = Boucle Matières & Circularité

<u>Type de procédé / Brique Technologique</u>	<u>Intrants énergétiques</u>	<u>Autres intrants (solide, liquide ou gaz)</u>	<u>Technologies</u>	<u>Description courte des technologies</u>	<u>Puissance visée pour TRL7 P&T [kW électrique]</u>	<u>Puissance visée pour TRL7 P&T [kW thermique]</u>	<u>Flux énergétiques Sortants valorisables</u>	<u>Autres flux sortants potentiellement valorisables (solide, liquide ou gaz)</u>
Conversion	Energie chimique	CH4/GN/Propane, O2/Air, eau de refroidissement (de l'ordre de 0.003 kg/s de CH4 pour une puissance électrique de 50 kW)	Cogénération par Moteur thermique	Production d'électricité et de chaleur par moteur à combustion interne utilisant des carburants classiques	50	60	Mécanique/électricité/chaleur	Fumées de combustion (débit estimé pour une puissance électrique de 50 kW: 0.113 kg/s), eau chaude
Conversion	Energie chimique	H2, NH3, O2/Air, gaz de plasmalyse, eau de refroidissement	Cogénération par Moteur thermique	Production d'électricité par moteur à combustion interne utilisant des carburants alternatifs	50	60	Mécanique/électricité/chaleur	Fumées de combustion, eau chaude
Conversion	Energie chimique	CH4/Biogaz, air/O2, fluide de refroidissement	Micro-turbine à gaz et auxiliaires pour la production combinée de chaleur et d'électricité	Production combinée d'électricité et de chaleur par machine de Joule ouverte utilisant du gaz naturel	48	85	Mécanique/électricité/chaleur	Fumées de combustion, eau ou autre fluide chaud
Conversion	Energie chimique	H2, NH3, O2, N2 et mélanges, gaz de plasmalyse, fluide de refroidissement	Micro-turbine à gaz et auxiliaires pour la production combinée et chaleur et d'électricité	Production combinée de chaleur et d'électricité par machine de Joule ouverte utilisant des combustibles alternatifs	48	85	Mécanique/électricité/chaleur	Fumées de combustion, eau ou autre fluide chaud

Bleu = Boucle ELECTRICITE, **Rouge** = Boucle CHALEUR et **Orange** = Boucle Matières & Circularité

<u>Type de procédé / Brique Technologique</u>	<u>Intrants énergétiques</u>	<u>Autres intrants</u> (solide, liquide ou gaz)	<u>Technologies</u>	<u>Description courte des technologies</u>	<u>Puissance visée pour TRL7 P&T</u> [kW électrique]	<u>Puissance visée pour TRL7 P&T</u> [kW thermique]	<u>Flux énergétiques Sortants valorisables</u>	<u>Autres flux sortants potentiellement valorisables</u> (solide, liquide ou gaz)
Conversion	Chaleur	Air chaud	Micro-turbine à air chaud pour la conversion d'énergie thermique en énergie électrique (ou technologie similaire)	Conversion d'énergie thermique en énergie mécanique/électrique à partir d'une source de chaleur sous forme d'air chaud	150		Mécanique/Electricité	Air refroidi
Conversion	Energie chimique	Gaz de plasmalyse (CH ₄ , C ₂ , H ₂ , C ₂ H ₂), O ₂ /Air, carburants classiques, eau	Chaudière multi combustible et de mélange (ex: gaz de plasmalyse, biomasse)	Chaudière gaz de plasmalyse (combustion)		45-100 kWth	Chaleur/eau	Fumées de combustion, eau ou fluide chaud
Conversion	Energie chimique	Gaz de plasmalyse (CH ₄ , C ₂ , H ₂ , C ₂ H ₂), O ₂ /Air, carburants classiques, eau	Procédé thermocatalytique et/ou photocatalytique de multi combustible et de mélange (ex: gaz de plasmalyse, biomasse)	Chaudière gaz de plasmalyse (combustion)		45-100 kWth	Chaleur/eau	Fumées de combustion, eau ou fluide chaud

Bleu = Boucle ELECTRICITE, **Rouge** = Boucle CHALEUR et **Orange** = Boucle Matières & Circularité

<u>Type de procédé / Brique Technologique</u>	<u>Intrants énergétiques</u>	<u>Autres intrants</u> (solide, liquide ou gaz)	<u>Technologies</u>	<u>Description courte des technologies</u>	<u>Puissance visée pour TRL7 P&T</u> [kW électrique]	<u>Puissance visée pour TRL7 P&T</u> [kW thermique]	<u>Flux énergétiques Sortants valorisables</u>	<u>Autres flux sortants potentiellement valorisables</u> (solide, liquide ou gaz)
Conversion	Electricité	Air extérieur, eau de chauffage	Pompe à chaleur à compression air-eau	Production de chaleur à moyenne température (35°-65°C) par pompe à chaleur à compression de vapeur et utilisant l'air extérieur comme source froide	10	30	Chaleur	Air extérieur refroidi, eau de chauffe réchauffée (vecteur chaleur)
Conversion	Electricité	Eau provenant des sondes géothermiques, eau de chauffage	Pompe à chaleur à compression sol (sonde verticale)-eau	Production de chaleur à moyenne température (35°-65°C) par pompe à chaleur à compression de vapeur et utilisant le sol comme source froide	7.5	30	Chaleur	Eau issue des sondes géothermiques refroidie, eau de chauffe réchauffée (vecteur chaleur)
Conversion	Electricité	Fluide caloporteur issu du processus de récupération de chaleur sur un procédé industriel (50-90°C), fluide caloporteur pour le transport de la chaleur produite: vecteur chaleur (120-200°C)	Pompe à chaleur à compression pour la valorisation de chaleur industrielle	Production de chaleur à 'haute' température (120°-200°C) par pompe à chaleur à compression de vapeur et utilisant un rejet thermique industriel ou la géothermie (70°C) comme source froide	100	200	Chaleur	Fluide caloporteur issu du processus de récupération de chaleur sur un procédé industriel (50-90°C) après refroidissement, fluide caloporteur pour le transport de la chaleur produite après chauffage par la pompe à chaleur: vecteur chaleur (120-200°C)

Bleu = Boucle ELECTRICITE, **Rouge** = Boucle CHALEUR et **Orange** = Boucle Matières & Circularité

<u>Type de procédé / Brique Technologique</u>	<u>Intrants énergétiques</u>	<u>Autres intrants</u> (solide, liquide ou gaz)	<u>Technologies</u>	<u>Description courte des technologies</u>	<u>Puissance visée pour TRL7 P&T</u> [kW électrique]	<u>Puissance visée pour TRL7 P&T</u> [kW thermique]	<u>Flux énergétiques Sortants valorisables</u>	<u>Autres flux sortants potentiellement valorisables</u> (solide, liquide ou gaz)
Conversion	Chaleur	Air extérieur, gaz naturel, eau: fluide caloporteur pour la chaleur produite	Pompe à chaleur à sorption (direct firing) utilisant l'air comme source froide	Production de chaleur à moyenne température (35 à 45°C) par pompe à chaleur à absorption ou adsorption utilisant l'air extérieur comme source froide et le gaz naturel comme source de chaleur		30	Chaleur	Fumées de combustion, air extérieur refroidi, fluide caloporteur pour le transport de la chaleur produite après chauffage par la pompe à chaleur: vecteur chaleur (35-45°C)
Conversion	Chaleur	Air extérieur, fluide caloporteur permettant l'alimentation de la machine en chaleur (70-150°C), eau: fluide caloporteur pour la chaleur produite.	Pompe à chaleur à sorption utilisant l'air comme source froide	Production de chaleur à moyenne température (35 à 45°C) par pompe à chaleur à absorption ou adsorption utilisant l'air extérieur comme source froide		30 kW	Chaleur	Air extérieur refroidi, fluide caloporteur pour le transport de la chaleur produite après chauffage par la pompe à chaleur: vecteur chaleur (35-45°C), fluide caloporteur (alimentation en chaleur) après refroidissement

Bleu = Boucle ELECTRICITE, **Rouge** = Boucle CHALEUR et **Orange** = Boucle Matières & Circularité

<u>Type de procédé / Brique Technologique</u>	<u>Intrants énergétiques</u>	<u>Autres intrants</u> (solide, liquide ou gaz)	<u>Technologies</u>	<u>Description courte des technologies</u>	<u>Puissance visée pour TRL7 P&T</u> [kW électrique]	<u>Puissance visée pour TRL7 P&T</u> [kW thermique]	<u>Flux énergétiques Sortants valorisables</u>	<u>Autres flux sortants potentiellement valorisables</u> (solide, liquide ou gaz)
Conversion	Electricité	Eau osmosée	Electrolyseur	Procédé de dissociation électrolytique d'eau pure en H2 et O2 (Techno. alcaline, PEM). Moins prioritaire si nous installons sur le site des capacités de stockage H2 sous pression/liquide.	50	15	Energie chimique- Chaleur	H2, O2
Conversion	Electricité	Eau usées (agricoles, stations d'épuration, hôpitaux ...)	Electrocatalyseur	Procédé de dissociation électrocatalytique d'eau usées à charge azotée ou contaminées en H2, O2, N2 et de sous-produits valorisables (précurseurs minéraux, synthons chimiques de biopolymères ...)	50	15	Energie chimique- Chaleur	H2, O2, N2, (hydrogénéo-)carbonates, précurseurs de biopolymères ...

Bleu = Boucle ELECTRICITE, **Rouge** = Boucle CHALEUR et **Orange** = Boucle Matières & Circularité

<u>Type de procédé / Brique Technologique</u>	<u>Intrants énergétiques</u>	<u>Autres intrants</u> (solide, liquide ou gaz)	<u>Technologies</u>	<u>Description courte des technologies</u>	<u>Puissance visée pour TRL7 P&T</u> [kW électrique]	<u>Puissance visée pour TRL7 P&T</u> [kW thermique]	<u>Flux énergétiques Sortants valorisables</u>	<u>Autres flux sortants potentiellement valorisables</u> (solide, liquide ou gaz)
Conversion + séparation gaz (PSA ou membrane)	Electricité	CH4 (Gaz/GN, GDM et Bio-CH4)	Plasmalyse	Procédé de conversion de CH4 en H2 et carbones solides containerisé	50		Energie chimique	H2 et carbones solides
Conversion + séparation gaz (PSA ou membrane)	Electricité	CO2, électricité décarbonée	Plasmacatalyse	Procédé de conversion du CO2 par torches plasma thermique containerisé. Combinaison à des catalyseurs pour maximiser la réaction $CO_2 \rightarrow CO + 1/2 O_2$ avec un haut taux de conversion. En lien avec la production de carburants durables / d'e-molécules (synthons)	50	50	Energie chimique	synthons pour la production d'électrocarburants de synthèse durables

Bleu = Boucle ELECTRICITE, **Rouge** = Boucle CHALEUR et **Orange** = Boucle Matières & Circularité

<u>Type de procédé / Brique Technologique</u>	<u>Intrants énergétiques</u>	<u>Autres intrants</u> (solide, liquide ou gaz)	<u>Technologies</u>	<u>Description courte des technologies</u>	<u>Puissance visée pour TRL7 P&T</u> [kW électrique]	<u>Puissance visée pour TRL7 P&T</u> [kW thermique]	<u>Flux énergétiques Sortants valorisables</u>	<u>Autres flux sortants potentiellement valorisables</u> (solide, liquide ou gaz)
Conversion + séparation gaz (PSA ou membrane)	Electricité	N2, H2 --> NH3 ET NH3 --> N2, H2	Plasmacatalyse	Procédé de production d'ammoniac (vecteur H2) par plasma électrique et à partir de N2 (air) et H2 industriel	10 → 50 kW		Energie chimique	ammoniac
Conversion		CH4/GN/Propane/ Biogaz, H2, NH3, O2/Air, eau de refroidissement	Cogénération Chaleur/Electricité par SOFC basse température - pile à combustible à moyenne et haute Température (existante / en développement ex CLUED-O)	Procédé de 'combustion' à partir de gaz / de vapeur d'eau par voie électrocatalytique à haute température (T~ 900 - 1000°C). Le couplage de ce procédé en cogénération avec de la combustion est en développement en RW	1.5 kW (bas TRL) – SOFC commerciales + Turbines à gaz → 100 kWth+chaleur		électricité	Eau chaude ou fluide chaud
Conversion		H2, Air/O2 eau de refroidissement	PEMFC - pile à combustible en cogénération (existante / composants en développement)	Procédé de conversion d'hydrogène et d'air en électricité avec récupération de chaleur à basse température (T < 95°C)			électricité	Eau chaude ou fluide chaud

Bleu = Boucle ELECTRICITE, **Rouge** = Boucle CHALEUR et **Orange** = Boucle Matières & Circularité

<u>Type de procédé / Brique Technologique</u>	<u>Intrants énergétiques</u>	<u>Autres intrants</u> (solide, liquide ou gaz)	<u>Technologies</u>	<u>Description courte des technologies</u>	<u>Puissance visée pour TRL7 P&T</u> [kW électrique]	<u>Puissance visée pour TRL7 P&T</u> [kW thermique]	<u>Flux énergétiques Sortants valorisables</u>	<u>Autres flux sortants potentiellement valorisables</u> (solide, liquide ou gaz)
Conversion / séparation		CO2, hydrogène	Réacteurs thermocatalytiques pour la production d'e-fuels	Procédé de conversion thermocatalytique de H2 et de CO2 (ou de CO) en e-fuels (e-CH4, e-méthanol, e-kérozène).		quelques dizaines de kW (selon la molécule produire)	Chaleur	Carburants de synthèse durable (ex. : SAF)
Stockage	Chaleur	Eau (fluide caloporteur), air extérieur	Stockage thermochimique à basse température	Stockage de chaleur à haute densité énergétique par réaction entre l'humidité de l'air et un solide poreux		30	chaleur	Air extérieur et fluide caloporteur
Stockage	Chaleur	Eau (fluide caloporteur)	Stockage d'énergie thermique par chaleur sensible à basse température	Réservoir d'eau, réservoir d'eau enterré ou réservoir eau-gravier enterré muni ou non d'un échangeur de chaleur pour le stockage à court et à moyen terme de chaleur et de froid		50	chaleur	Eau (fluide caloporteur)
Stockage, conversion	Chaleur	Fluide caloporteur	Champ de sondes géothermiques (échangeurs de chaleur eau-sol verticaux)	Stockage thermique par chaleur sensible dans le sol ou technologie permettant d'alimenter en chaleur les pompes à chaleur sol-eau		50	chaleur	Fluide caloporteur

Bleu = Boucle ELECTRICITE, **Rouge** = Boucle CHALEUR et **Orange** = Boucle Matières & Circularité

<u>Type de procédé / Brique Technologique</u>	<u>Intrants énergétiques</u>	<u>Autres intrants</u> (solide, liquide ou gaz)	<u>Technologies</u>	<u>Description courte des technologies</u>	<u>Puissance visée pour TRL7 P&T</u> [kW électrique]	<u>Puissance visée pour TRL7 P&T</u> [kW thermique]	<u>Flux énergétiques Sortants valorisables</u>	<u>Autres flux sortants potentiellement valorisables</u> (solide, liquide ou gaz)
stockage	Chaleur	Air chaud ou froid	Stockage de chaleur à très haute température	Stockage de chaleur par chaleur sensible dans des matériaux réfractaires (air=fluide caloporteur)		1000	chaleur	Air chaud ou froid
stockage	Chaleur	Air, fluide caloporteur	Stockage de chaleur à très haute température	Stockage de chaleur par changement de phase ou par réaction chimique		20	Chaleur	Air ou fluide caloporteur
Stockage	Electricité		Batteries	Batterie	500		électricité	
Capture & purification/concentration CO2	Electricité, chaleur	Fumées de combustion, effluents industriels, fluides caloporteurs	Adsorption (matériaux poreux)	Systèmes de capture et de concentration de CO2 innovant de par adsorption		2GJ/tonne de CO2 (entre 100 et 200 Nm3/h de CO2 (soit 75g/s) - 150 kW		CO2 et co-gaz

Bleu = Boucle ELECTRICITE, **Rouge** = Boucle CHALEUR et **Orange** = Boucle Matières & Circularité

<u>Type de procédé / Brique Technologique</u>	<u>Intrants énergétiques</u>	<u>Autres intrants</u> (solide, liquide ou gaz)	<u>Technologies</u>	<u>Description courte des technologies</u>	<u>Puissance visée pour TRL7 P&T</u> [kW électrique]	<u>Puissance visée pour TRL7 P&T</u> [kW thermique]	<u>Flux énergétiques Sortants valorisables</u>	<u>Autres flux sortants potentiellement valorisables</u> (solide, liquide ou gaz)
Capture & purification/concentration CO2	Electricité, chaleur	Fumées de combustion, effluents industriels, fluides caloporteurs, solvant	Absorption (solvant)	Systèmes de capture et de concentration de CO2 par absorption dans des solvants		2GJ/tonne de CO2 (entre 100 et 200 Nm3/h de CO2 soit (75g/s) - 150 kW		CO2 et co-gaz
EMULATION de demande électrique	Electricité	Air froid (refroidissement)	Emulateur ELECTRIQUE (PV/Eolien)	Une installation appelée EMULATEUR, permettant de reproduire la production d'électricité intermittente telle qu'émise à partir d'une éolienne (courant alternatif) ou d'un champs de panneaux photovoltaïques (courant continu) mais à partir du réseau de puissance électrique. Ce système permettrait de maximiser la production d'électricité intermittente (en continu) et pour différents types de climats d'intérêt. Il est prévu d'installer 2	400		Electricité	

Bleu = Boucle ELECTRICITE, **Rouge** = Boucle CHALEUR et **Orange** = Boucle Matières & Circularité

				<p>systèmes différents pour EOLIEN/PV afin pouvoir émuler simultanément les 2 types de sources énergétiques.</p>				
<u>Type de procédé / Brique Technologique</u>	<u>Intrants énergétiques</u>	<u>Autres intrants (solide, liquide ou gaz)</u>	<u>Technologies</u>	<u>Description courte des technologies</u>	<u>Puissance visée pour TRL7 P&T</u> [kW électrique]	<u>Puissance visée pour TRL7 P&T</u> [kW thermique]	<u>Flux énergétiques Sortants valorisables</u>	<u>Autres flux sortants potentiellement valorisables</u> (solide, liquide ou gaz)
Conversion	Electricité	Liquide (fluide thermique)	Réchauffeur de liquide à haute température	Installation destinée à émuler une production de chaleur à haute température dans des fluides thermiques	200	200	Chaleur	Fluide thermique
Conversion	Electricité	Eau	Réchauffeur de liquide à basse température	Installation destinée à émuler une production de chaleur à basse température dans l'eau	200	200	Chaleur	eau
Conversion	Electricité	Air	Réchauffeur d'air	Installation destinée à émuler une production de chaleur à basse/moyenne/haute température dans l'air	1000	1000	Chaleur	air
Refroidisseur de liquide/d'air		Air extérieur, air ou liquide à refroidir	Echangeur de chaleur pour le refroidissement d'air ou de liquide	Installation destinée à préparer un fluide caloporteur (air ou liquide) pour des conditions de				Air, fluide caloporteur refroidi

Bleu = Boucle ELECTRICITE, **Rouge** = Boucle CHALEUR et **Orange** = Boucle Matières & Circularité

				température requise pour un test				
Refroidisseur de liquide/d'air	Electricité	Air extérieur, air ou liquide à refroidir	Groupe de froid	Installation destinée à préparer un fluide caloporteur (air ou liquide) pour des conditions de température requise pour un test	20	50	Froid	Air, fluide caloporteur refroidi
<u>Type de procédé / Brique Technologique</u>	<u>Intrants énergétiques</u>	<u>Autres intrants</u> (solide, liquide ou gaz)	<u>Technologies</u>	<u>Description courte des technologies</u>	<u>Puissance visée pour TRL7 P&T</u> [kW électrique]	<u>Puissance visée pour TRL7 P&T</u> [kW thermique]	<u>Flux énergétiques Sortants valorisables</u>	<u>Autres flux sortants potentiellement valorisables</u> (solide, liquide ou gaz)