

The background of the slide is a blue sky with wispy white clouds. A horizontal bar with segments of purple, orange, and blue is positioned above the main text area.

Optimisation de production d'actifs hydroélectriques

Un cas d'application par Artelys et Énergie Brookfield

Artelys est une société indépendante **d'édition de logiciel** et de conseil spécialisée en **optimisation de systèmes énergétiques**

Expertise technique

- | Science des données
- | Modélisation
- | Optimisation
- | Prévision



Nos activités

Outils d'optimisation



Suite logicielle
Artelys Crystal



Conseil/Etudes



L'une des plus importantes entreprises d'énergie renouvelable au monde

Énergie
Brookfield

Solides expertises en investissement, développement, exploitation et commercialisation d'énergie renouvelable

100 ans d'expérience en production d'énergie

+2 000 employés à travers le monde

33 G\$

ACTIFS
TOTAUX



Plus de **830** installations de production d'énergie renouvelable

15 300 MW

PUISSANCE
INSTALLÉE



20 marchés dans **8** pays

85 %

PRODUCTION
HYDROÉLECTRIQUE



81 réseaux hydrographiques

PLAN DE LA PRÉSENTATION

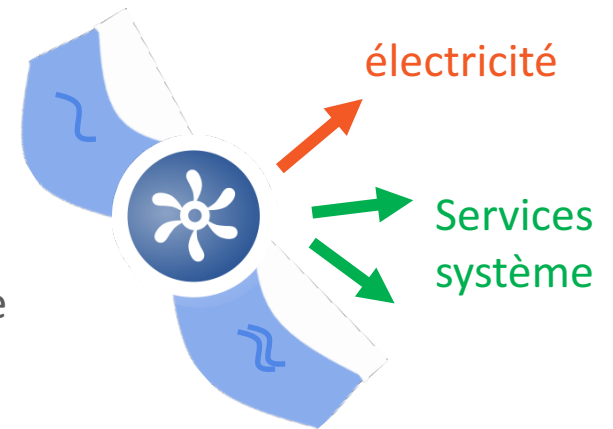
1. Présentation du défi d'optimisation de production des actifs hydroélectriques
2. Résolution : Construction d'une solution logicielle spécifique
3. Application : Implantation de la solution avec Énergie Brookfield

PRÉSENTATION DU DÉFI



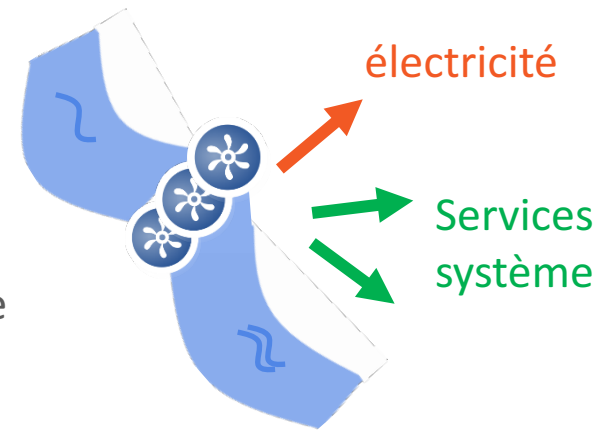
4 Les décisions

- | Pour une turbine/ un pas de temps
 - ↳ Décision ON/OFF
 - ↳ Décision d'offrir ou non de la régulation
 - ↳ Décision d'offrir ou non de la réserve synchronisée



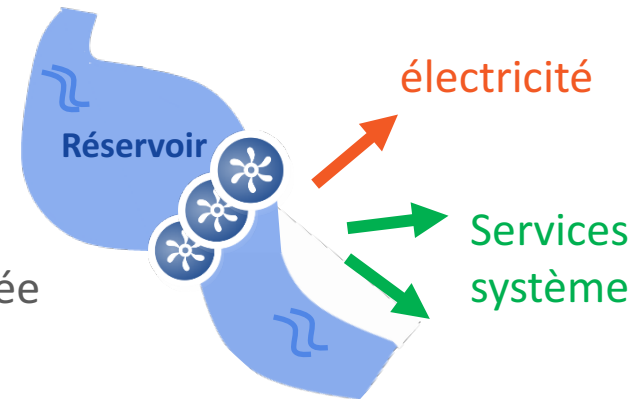
4 Les décisions

- | Pour une turbine/ un pas de temps
 - ↳ Décision ON/OFF
 - ↳ Décision d'offrir ou non de la régulation
 - ↳ Décision d'offrir ou non de la réserve synchronisée
- | En considérant plusieurs turbines
 - ↳ Combinaisons des décisions ci-dessus



4 Les décisions

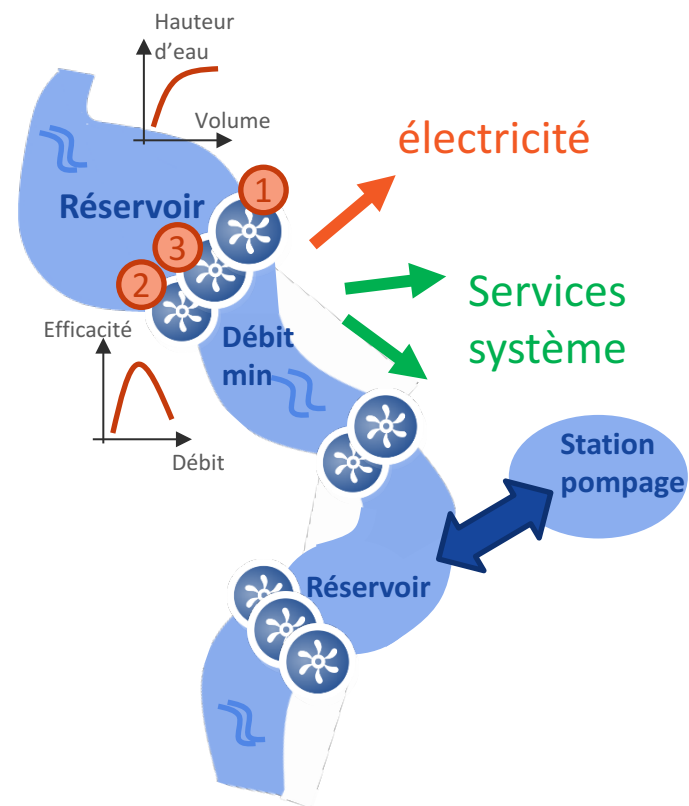
- | Pour une turbine/ un pas de temps
 - ↳ Décision ON/OFF
 - ↳ Décision d'offrir ou non de la régulation
 - ↳ Décision d'offrir ou non de la réserve synchronisée
- | En considérant plusieurs turbines
 - ↳ Combinaisons des décisions ci-dessus
- | Avec présence d'un stockage
 - ↳ Stocker/déstocker/ne pas utiliser le stock
- | En considérant tout un horizon
 - ↳ Optimisation journalière, hebdomadaire, mensuelle, annuelle... selon l'étude



➔ Pour une optimisation sur 24 heures, avec 5 turbines et un stockage, plus de 10^{122} combinaisons possibles de décisions

4 Prise en compte de l'ensemble des contraintes du système pour une modélisation fine

- | Non-linéarités sur l'efficacité des turbines
- | Contraintes de stock
 - ↳ Modes d'opération (niveau min. variable)
 - ↳ Courbe hauteur d'eau/volume selon la forme du réservoir
- | Modes d'opération complexes
 - ↳ Ordre de démarrage des turbines
 - ↳ Différents modes de régulation
- | Contraintes environnementales
 - ↳ Contraintes de débit minimal
- | Centrales en cascade
- | Station de pompage



4 Valorisation maximale des actifs hydroélectriques

| Maximisation des revenus

- ↳ Arbitrage entre électricité/services systèmes
- ↳ Arbitrage entre marchés veille pour le lendemain/ temps réel

4 Différentes contraintes/objectifs selon le cadre de la modélisation

| Echelle de temps de la modélisation

- ↳ Long terme : prévisions un an à l'avance pour prévoir les quantités produites/maintenances/niveaux de stock/etc.. Ces prévisions peuvent être utilisées pour l'évaluation des investissements/PPAs...
- ↳ Moyen terme : prévisions quelques mois à l'avance pour gérer les niveaux de stock cibles
- ↳ Court terme : planification veille pour le lendemain/temps réel

| Modélisation multi-scénarios (apports d'eau, prix de marché, pannes,...)

RÉSOLUTION



4 Il s'agit d'un « bon » défi d'optimisation

- | Définition: Défi que l'on ne peut pas résoudre à la main de manière intuitive
- | Arbitrages et flexibilité amènent en général de bonnes possibilités d'optimisation
 - ↳ En raison de la combinaison entre les services systèmes, le stockage, les centrales en cascade

4 Artelys Crystal : une solution logicielle d'optimisation de systèmes énergétiques répondant parfaitement au cahier des charges

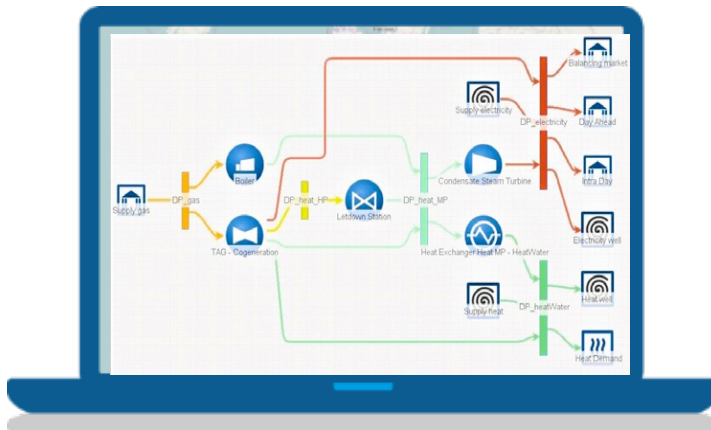
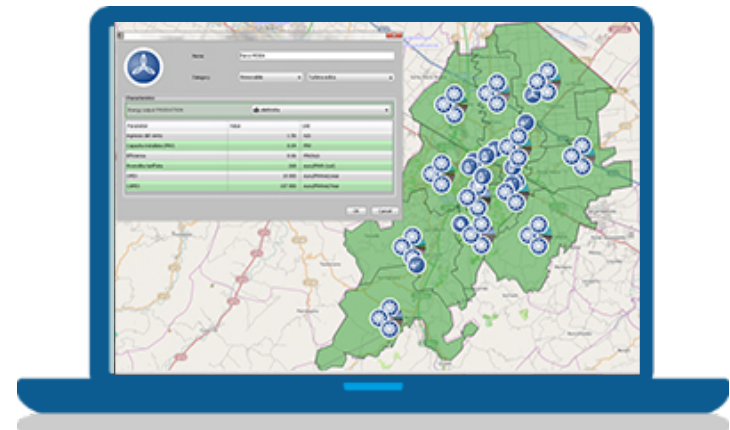
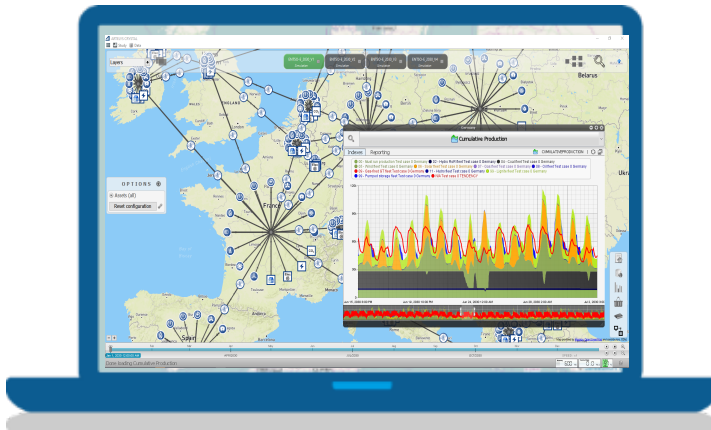
- | Basée sur un solveur d'optimisation mixte en nombres entiers FICO® Xpress
- | Entièrement configurable pour modéliser finement toutes les contraintes spécifiques du système
- | Contient un ensemble d'algorithmes d'optimisation pour résoudre efficacement chaque type de formulation
- | S'intègre au système informatique en place





Artelys Crystal

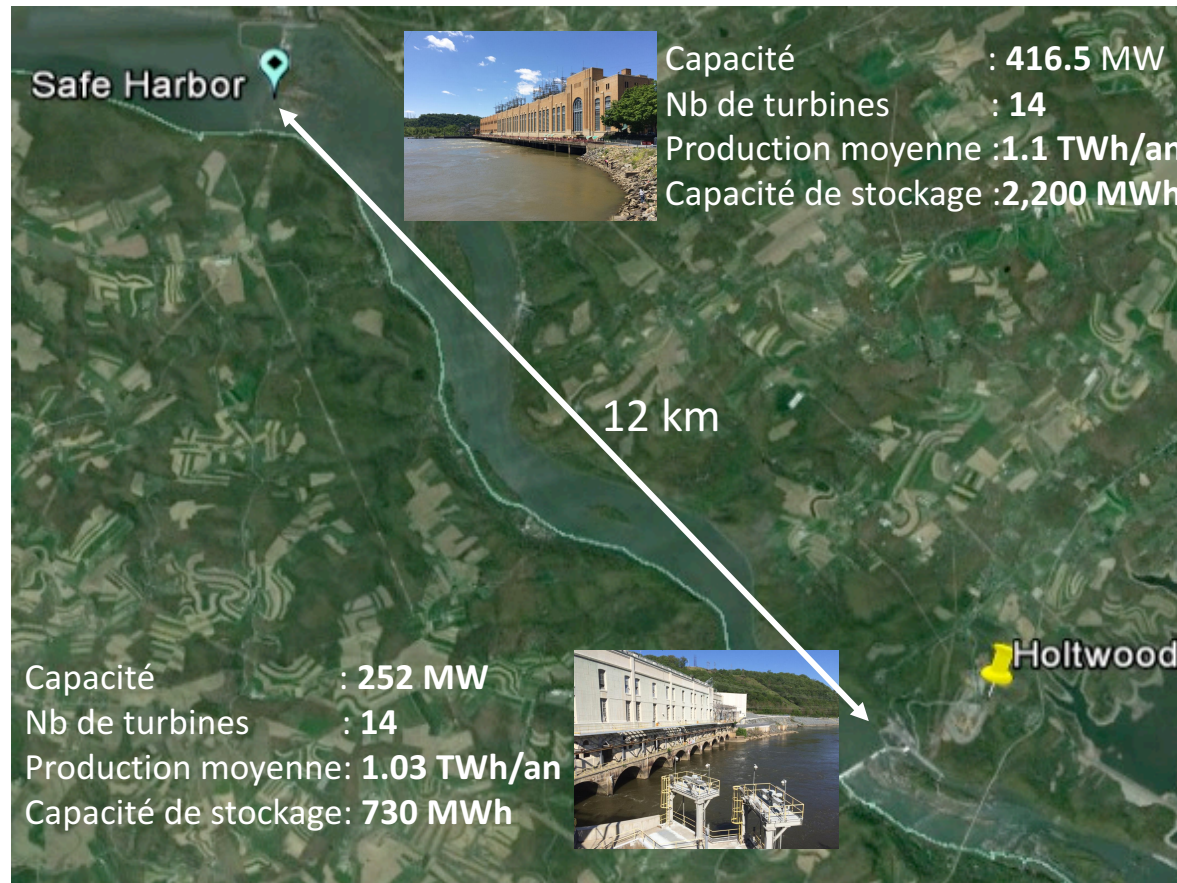
Des solutions pour le domaine de l'énergie



APPLICATION AU SYSTÈME D'ÉNERGIE BROOKFIELD

4 Implantation chez Énergie Brookfield

- Systeme étudié: 2 centrales hydroélectriques en cascade en Pennsylvanie (marché PJM)



4 Question initiale

- | Etude de la coordination des opérations entre les centrales en amont et en aval
- | Résultat collatéral de l'étude : il existe des possibilités d'optimisation des opérations au sein de chaque centrale

4 Mise en place par Artelys d'un premier modèle de planification optimale pour les deux centrales

- | Configuration de la suite logicielle Artelys Crystal

4 Tests de la nouvelle solution logicielle par les équipes d'Énergie Brookfield

- | *Shadow-testing* pendant 50 jours

4 Mise en place de la solution en cours

- | Acquisition d'une licence logicielle par Énergie Brookfield et intégration au processus opérationnel
- | Formation des opérateurs en cours, mise en place définitive prévue au premier semestre 2018

Etapes de la planification

The screenshot displays the Artelys Crystal software interface. At the top, the title bar shows 'ARTELYS CRYSTAL' and 'DAY_AHEAD 27-01-2015'. Below the title bar is a menu bar with 'Workflows', 'Context', and 'Computing'. A toolbar contains buttons for 'Import', 'Model', 'Optimization', 'Analysis', and 'Export'. The 'Model' button is highlighted with a green box. Below the toolbar is a search bar and a 'System' dropdown menu. The main workspace shows a 'Layers' panel on the left and a 'SYSTEM' panel on the right. The central area contains a complex network diagram with various components and connections. Green arrows point from the 'Etapes de la planification' text to the 'Model', 'Optimization', 'Analysis', and 'Export' buttons. Green text labels are overlaid on the diagram: 'Système' (top left), 'Turbines' (middle left), 'Apports d'eau' (bottom left), 'Stock' (middle left), 'Déversé' (bottom center), 'Contrat long terme' (top right), 'Débit sortant' (middle right), and 'Marchés (élec, reg, res)' (bottom right). The bottom status bar shows 'Done loading System', 'Memory 236 Mb', 'Cache Size 0.0 Mb.s', and 'C.P.U 28 %'.

ARTELYS CRYSTAL

Workflows Context Computing

DAY_AHEAD 27-01-2018 Assets table

Import Model Export

Layers

Safe_Harbor_Reservoir Safe_Harbor_Water_Delivery Safe_Harbor_Water_Storage Safe_Harbor

Amtrak_Units01_02 Water Safe_Harbor_Well Power_Market_SH Regulation_SH Reserve_Safe_Harbor

SYSTEM

Done loading Asset_View_Safe_Harbor_Unit08

Memory 287 MB Cache Size 0.0 MB CPU 21%

Description

Name Safe_Harbor_Unit08

Description

Type Hydro Turbine Regulation Modes

Location 39.912°;-76.391°

Tags

Scopes & Behaviors

In/Out

Parameters

Parameter	Value	Unit
Qmin	0	cfs
Qmax	10 300	cfs
Pmin	33	MW
Pmax	37	MW
Pmin plant reg mode	-1	MW
Heat rate curve	[0.0;10200.0]	cfs/MW
Regulation heat rate	276	cfs/MW
Heat rate curve Unit Mode	[0.0;10201.0]	cfs/MW
Availability	Availability_Safe_Harbor_Unit...	0/1
Max. reg. unit mode	2	MW

Results

ARTELYS CRYSTAL

Workflows Context Computing

DAY_AHEAD 27-01-2018 Assets table Modify context parameters Export context

Import Model Optimization Analysis Export

Power_Market_SH Detailed

POWER_MARKET_SH

Description

Name: Power_Market_SH

Description: [Empty]

Type: Power_Markets

Location: 39.892°;-76.435°

Tags: [Empty]

Energy: electricity

Scopes & Behaviors

Scopes: Day ahead ...

In/Out

Markets

Parameters

Results

Unit: [Empty]

View Indexes Export Time Graph options

View: Charts

Configuration: Default

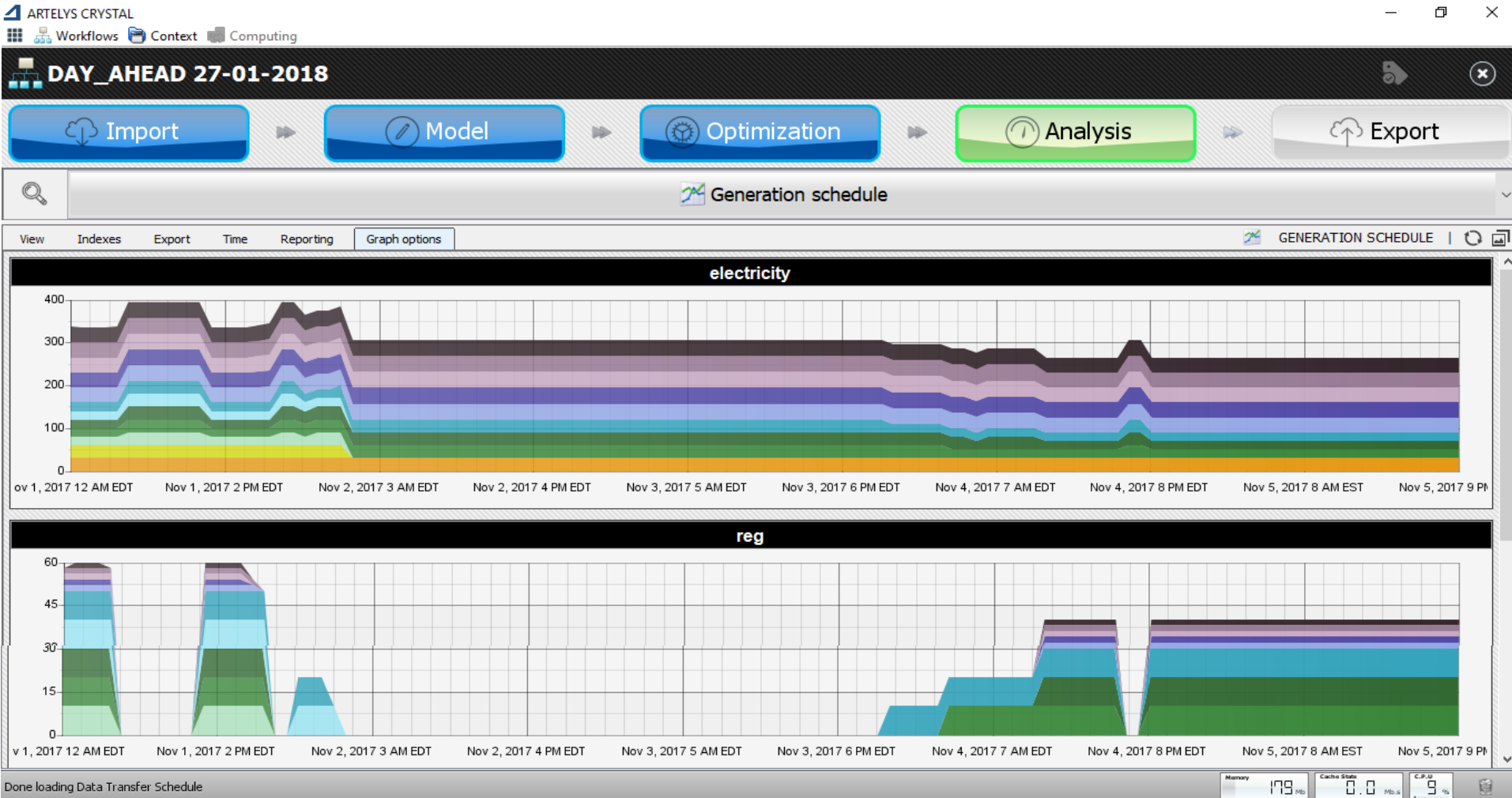
Add Delete Save Refresh F(X) View

ov 1, 2017 12 AM EDT Nov 2, 2017 8 AM EDT Nov 3, 2017 4 PM EDT Nov 4, 2017 11 PM

Safe_Harbor_Water_Spill Reserve_Safe_Harbor

Done loading Asset_View_Safe_Harbor_Unit08

Memory 287 MB Cache Size 0.0 MB CPU 21%



4 Les bénéfices pour Énergie Brookfield

- | Prévisions de gains de l'ordre de **10%** des revenus générés annuellement
- | Prévus par l'étude initiale d'Artelys
 - ↳ Confirmé par le shadow-testing de Brookfield
- | Un processus opérationnel simplifié
 - ↳ Temps total de planification réduit de 1h30 à 10 min

Fin 2016



Le projet a obtenu le grand prix interne chez Énergie Brookfield:

La clé du succès, soulignant un projet innovant mené par un employé

4 Prochaines étapes

- | Implantation du module temps-réel
- | Etude d'impact sur d'autres centrales d'Énergie Brookfield
- | Analyses variées (multi-scénarios, impacts de présence de glace dans le réservoir)

4 Des algorithmes au service de l'environnement

- | En optimisant nos capacités de production et la flexibilité de nos actifs renouvelables, nous contribuons à apporter de la flexibilité au marché de l'électricité et à minimiser le recours aux énergies fossiles

Merci pour votre attention !

Énergie **Brookfield**



Artelys Canada
3 Place Ville-Marie, Suite 400
H3B 2E3 – Montréal, QC, CANADA

Contact Énergie Brookfield

Cody Kupferschmidt

Analyste, Hydrologie et optimisation

cody.kupferschmidt@energiebrookfield.com

Contacts Artelys Canada

Arnaud Renaud, Chef de la direction

arnaud.renaud@artelys.com

Violette Berge, Vice-présidente

violette.berge@artelys.com