ISIMA 3ème année - MODL/C++
TP 3 : Généricité avancée

L'objectif ici est de concevoir une fonction chaine qui puisse convertir n'importe quel type de valeur en une chaîne de caractères, dans le but par exemple de permettre la sérialisation (https://en.wikipedia.org/wiki/Serialization). Nous allons notamment prévoir la sérialisation d'un tuple (https://en.cppreference.com/w/cpp/utility/tuple), structure introduite dans la bibliothèque standard avec C++11.

Exercice 1 - Exceptions

Pour commencer, nous allons définir une première version de la fonction chaine, une fonction générique avec un paramètre *template* qui est le type de la valeur à convertir en chaîne de caractères. Cette version lèvera systématiquement une exception. Des surcharges de cette fonction ensuite viendront définir des conversions pour des types spécifiques.

1) Ecrire la fonction générique chaine<T>(x) qui devrait retourner une chaîne de caractères représentant l'objet x de type T passé comme argument.

   Cette première version générique lève systématiquement une exception du type ExceptionChaine (à créer) pour indiquer que la conversion n'est pas possible. Cette classe d'exceptions devra hériter de std::exception et redéfinir la méthode what. Vous verrez dans les tests unitaires le format attendu pour le retour de what : un message suivi du type de la valeur qui n'a pas pu être convertie. Test 1

   Indications : Le type de la valeur peut être obtenu sous forme de chaîne de caractères via l'instruction typeid vue en cours (vous appliquerez la fonction demangle fournie dans le fichier demangle.hpp à cette chaîne pour la « décoder »). Cette information sera transmise à l'exception via son constructeur. Conseil : conserver la valeur dans un attribut (pour pouvoir proposer un accesseur), et utiliser la valeur dès le constructeur pour préparer le message de retour de la méthode what (stocker le message dans un attribut std::string et retourner le tableau de caractères associé via sa méthode c_str dans la méthode what).

   Question subsidiaire : Utiliser un constructeur *template* prenant en argument la valeur plutôt que la chaîne du type.

2) Fournir des surcharges de la fonction chaine pour les types string, int et double. Pour int, utiliser un objet stringstream pour effectuer la conversion ; pour double, utiliser la fonction std::to_string. En revanche, aucune surcharge ne devra être fournie pour long. Test 2

   Indications : L'approche avec stringstream fonctionne pour tout type qui possède l'opérateur << pour un flux ostream (rappel : std::cout, std::ofstream et std::stringstream héritent de cette classe). Créer un objet stringstream et utiliser l'opérateur de flux pour y écrire la valeur à convertir. Appeler ensuite sa méthode str pour récupérer le contenu du flux sous la forme d'une chaîne de caractères.

   Remarque : Pour tous les types de nombres, on peut utiliser la fonction std::to_string introduite en C++11 qui effectue directement la conversion.

Exercice 2 – *Variadic template*

3) Ecrire une surchage de la fonction chaine sous la forme d'un *template* avec un nombre variable de paramètres (cf. *variadic template*). Cette fonction doit convertir chaque argument en chaîne de caractères et les concaténer en les séparant par un espace. Test 3

   Indications : Il s'agit ici de faire l'expansion du pack d'arguments de la fonction pour obtenir une séquence d'appels à la fonction chaine pour chacun des arguments et leur concaténation. Nous avons vu brièvement l'expansion simple en cours (sous forme de liste, les arguments sont séparés par des virgules), mais il y a aussi l'expansion avec des opérateurs binaires (cf. *fold expressions*, depuis C++17). Nous vous invitons à regarder la documentation suivante pour trouver comment faire l'expansion ici : https://en.cppreference.com/w/cpp/language/fold. En résumé, il est possible de faire l'expansion d'un pack d'arguments sous la forme d'une suite d'opérations binaires, par exemple : l'expression `( args + ... )` est développée en `(arg1 + (arg2 + (… + argn)))`, mais attention, les parenthèses et la position des ... ont leur une importance.

Le mécanisme de paramètres variables des *templates* a permis notamment de concevoir la classe std::tuple, qui est une structure permettant de rassembler des valeurs de différentes natures, sans connaissance préalable de leur type et de leur quantité. Par exemple,

```
std::tuple<int,double,std::string> tp;
```

représente un tuple rassemblant un int, un double et un objet std::string.

Alors que créer un tuple est facile, le manipuler n'est pas toujours évident. A notre disposition, nous avons notamment la fonction get<I>(t) qui permet l'extraction du I^{ème} élément du tuple t, et tuple_element_t<I,T> qui représente le type du I^{ème} élément du tuple de type T.

Si l'on souhaite appliquer un même traitement à chacun des éléments d'un tuple, une solution est d'obtenir la séquence de nombre *0,1,...,N-1* sous la forme d'un pack de nombres (notons le Is), et d'appliquer une expansion de ce pack de la manière suivante : `f(std::get<Is>(t)...);`
qui va se développer en : `f(std::get<0>(t), std::get<1>(t), ..., std::get<N-1>(t));`

Pour permettre cette expansion, il faut obtenir le pack d'entiers Is. Pour cela, on part d'une fonction qui, à partir d'un tuple, appelle une fonction avec comme arguments le tuple et la séquence de nombres (générée par la fonction make_index_sequence dont le paramètre *template* indique la taille de la séquence) :

```
template <typename... ARGS>
void f(const std::tuple<ARGS...> & t)
{ f_bis(t,std::make_index_sequence<sizeof...(ARGS)>()); }
```

Par exemple, `f(tp)` induit l'appel `f_bis(tp,std::index_sequence<0,1,2>)`. Il suffit alors d'écrire la fonction f_bis avec un pack d'entiers Is sous la forme suivante :

```
template <typename T,size_t... Is>
void f_bis(const T & t,std::index_sequence<Is...>)
{ // Expansion de Is pour appeller fonction f }
```

4) A partir de cette explication, écrire une surcharge de la fonction chaine pour les tuples, afin d'appeler la version *variadic* de la fonction chaine avec comme arguments les éléments du tuple. Tests 4-5

5) Supposons maintenant que l'un des éléments d'un tuple soit lui même un tuple, cf. Test 6. D'après notre conception, pas de souci *a priori*, puisque la fonction chaine est appelée sur chaque élément du tuple, et nous disposons d'une surcharge pour les tuples, donc de manière « récursive », la sérialisation devrait fonctionner. Cependant, le compilateur peut éventuellement appeler la version primaire de chaine (celle qui est générique et renvoie une exception), ce qui est probablement lié à l'ordre de déclaration des surcharges. Il vous faut donc bien veiller à **déclarer les prototypes en amont des définitions des surcharges** de la fonction chaine.

6) Question subsidiaire : La chaîne produite avec des tuples imbriqués produit à certains moments des espaces multiples (plusieurs caractères espaces à la suite), liés à la fonction chaine variadic où un espace est en trop (soit en début, soit en fin, suivant votre implémentation). Proposer une version qui, au lieu de prendre en paramètre seulement un pack de types, prend d'abord un type, puis un pack de types. De cette manière, vous pourrez écrire la concaténation de tous les éléments sans l'espace superflu.

Exercice 3 - Métaprogrammation

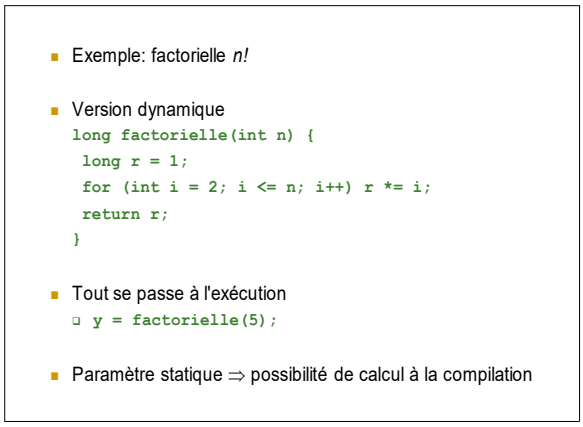
Un calcul peut parfois être évalué en partie à la compilation (par exemple la somme de deux constantes), le reste étant évalué à l'exécution du programme. Les génériques peuvent être utilisés pour augmenter et automatiser la part de calcul évaluée à la compilation dans une expression, et de ce fait, accélérer son évaluation à l'exécution. On appelle cette technique l'évaluation partielle.

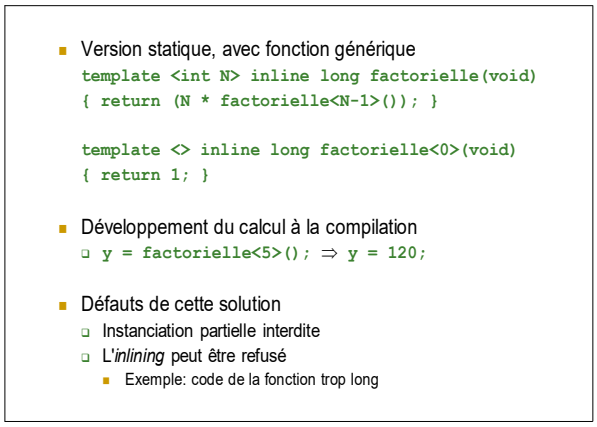
1) Factorielle et fonctions récursives

Certains algorithmes demandent parfois de manipuler des valeurs constantes non-triviales qu'il est maladroit de cacher sous la forme d'une simple constante nommée. Par exemple, le calcul de la série de Taylor d'une fonction peut faire appel à la série de constantes *1!, 2!, 3!, ..., n!*. Une solution classique revient à définir des constantes :

```
static const int FACT2 = 2;
static const int FACT3 = 6;
static const int FACT4 = 24;
static const int FACT5 = 120;
```

Il est possible d'exploiter la capacité de spécialisation des *templates* pour, de manière récursive, obtenir le résultat du calcul. Voici comment procéder avec une fonction générique.





A la place, proposez une structure générique contenant un membre de classe de type unsigned long et qui, de manière similaire, permet d'effectuer le calcul de *n!* de manière statique. Au final, l'utilisation de cette structure se fera de la manière suivante :

```
unsigned long fact20 = Factorielle<20>::valeur;
```
Test 7

2) Calcul de séries de Taylor

L'expression d'une fonction *f(x)* sous la forme d'une série de Taylor fait intervenir l'ordre *N* et la valeur du point *x* où l'on évalue la fonction. L'idée est de fournir une structure générique qui va construire à la compilation et de manière récursive la série de Taylor de la fonction à l'ordre voulu. À l'exécution, ce développement sera évalué en un point quelconque. On a donc une partie statique et une partie dynamique. Ainsi, par exemple, l'évaluation en *1.5* de la série de Taylor à l'ordre *5* d'exponentielle sera donné par :

```
double val = Exponentielle<5>(1.5);
```

Fournir la série de Taylor des fonctions exponentielle, sinus et cosinus. On rappelle que :

$$
\begin{aligned}
\exp(x) &\approx \sum_{k=0}^{N} \frac{x^k}{k!} \\
\cos(x) &\approx \sum_{k=0}^{N} (-1)^k \frac{x^{2k}}{(2k)!} \\
\sin(x) &\approx \sum_{k=0}^{N} (-1)^k \frac{x^{2k+1}}{(2k+1)!}
\end{aligned}
$$

Proposer les structures génériques nécessaires à ces calculs. Test 8-11